ENERGÉTICA IND.E COM. LTDA.
Rua Gravataí, 99 – Rocha
CEP 20975-030 Rio de Janeiro – RJ
CNPJ 29.341.583/0001-04 – IE 82.846.190
Fone: (0xx21) 2501-1998 Fax: (0xx21) 2241-1354
www.energetica.ind.br

OPSOMS

AMOSTRADOR DE PEQUENO VOLUME PARA COLETA DE FUMAÇA E SO_2

MANUAL DE OPERAÇÃO

Responsável:

José Walderley Coêlho Dias

ATENÇÃO

MEDIDA DA VAZÃO DE AMOSTRAGEM

O procedimento que apresentamos neste manual para a determinação do volume de ar amostrado é baseado na prática generalizada no Brasil de se considerar como vazão de amostragem a vazão limitada pelo orifício crítico utilizado na amostragem.

Entretanto, é bom frisar que o orifício crítico, a rigor, é apenas um limitador de vazão; não um medidor de vazão.

A vazão limitada pelo orifício é normalmente obtida por meio de bolhômetros, em calibrações geralmente realizadas no laboratório. Não há instruções oficiais no país que indiquem a freqüência de calibração dos orifícios. Porém, alguns órgãos de controle recomendam a calibração dos orifícios em uso a cada dez amostragens.

Já a U.S. EPA (ver Ref. 1 na Seção 8.0 - método da determinação de SO_2 pela pararrosanilina) não permite a utilização da vazão de calibração do orifício na determinação da vazão real de amostragem. Pela U.S. EPA, o usuário tem que determinar a vazão de amostragem no local, usando, para isso, um dispositivo de medição de vazão (por exemplo, o bolhômetro), que não faça parte do trem de amostragem. É evidente que os procedimentos de amostragem da U.S. EPA são bem mais trabalhosos do que os normalmente praticados no Brasil.

Embora as seções principais deste manual só abordem as práticas brasileiras, achamos por bem apresentar um resumo das práticas da U.S. EPA no Apêndice F.

Por fim, recomendamos ao usuário do OPSOMS dirigir-se ao respectivo órgão de controle ambiental e procurar tomar uma decisão se deve ou não continuar aderindo às práticas em uso no Brasil.

Rio de Janeiro, 20 de Julho de 2010

José Walderley Coêlho Dias
Diretor

ÍNDICE

Seção	Descrição	Pág.
1.0	**Introdução**	1.1
2.0	**Aplicações e Princípios**	2.1
2.1	Aplicações e Princípios Gerais	2.1
2.2	Princípio da refletância da Luz	2.1
2.3	Princípio dos Métodos de Absorção	2.1
2.4	Princípio de Operação	2.2
2.5	Princípio do Orifício Crítico	2.4
3.0	**O Equipamento**	3.1
3.1	Componentes	3.1
3.2	Dados Técnicos	3.1
3.3	Montagem	3.2
3.3.1	A Casinhola	3.2
3.3.2	O Sistema de Captação	3.2
3.3.3	Conjunto Porta-Filtro de Inox, Frasco-Borbulhador, Filtros de Proteção e Orifício Crítico	3.4
3.3.4	Estanqueidade do Sistema	3.6
3.3.5	Energização do Amostrador	3.9
3.3.6	Liga-desliga e Contagem do Tempo	3.9
3.3.7	Gasômetro	3.9
4.0	**Calibração**	4.1
4.1	Considerações Preliminares	4.1
4.2	Calibração do Equipamento de Medição de Vazão - o Bolhômetro	4.1
4.3	Controle de Vazão do Trem de Amostragem - o Orifício Crítico	4.2
4.3.1	Obtenção dos Orifícios (Agulhas)	4.2
4.3.2	Utilização dos Orifícios (Agulhas) no Campo	4.2
4.4	Horâmetro	4.3
4.5	Programador de Tempo (Timer)	4.3
4.6	Refletômetro	4.3
4.7	Gasômetro	4.3
5.0	**Amostragem**	5.1
5.1	Considerações Preliminares	5.1
5.2	Preparação do Frasco/borbulhador e Seleção do Orifício Crítico	5.1
5.2.1	Filtro Whatman n° 1	5.1
5.2.2	Limpeza do Frasco-Borbulhador	5.1
5.2.3	Colocação do reagente	5.1
5.2.4	Identificação do Frasco-Borbulhador e do Orifício Crítico	5.1
5.2.5	Seleção do Orifício Crítico	5.1
5.2.6	Embalagem e Envio do Frasco-Borbulhador para o Campo	5.3
5.3	Material para o Campo	5.3
5.4	Colocação do Filtro, do Frasco-Borbulhador e do Orifício Crítico (no Campo)	5.3

Continua

ÍNDICE (continuação

Seção	Descrição	Pág.
5.4.1	Do Filtro	5.3
5.4.2	Do Frasco-Borbulhador	5.3
5.4.3	Dos Orifício Crítico e Filtros de Proteção	5.4
5.4.4	Checagem Geral	5.4
5.5	Preparação do Restante do OPSOMS (no Campo)	5.4
5.5.1	Energização do Aparelho	5.4
5.5.2	Bomba	5.5
5.5.3	Teste de Estanqueidade (Vazamento)	5.5
5.5.4	Checagem das Condições Críticas	5.5
5.5.5	Gasômetro	5.5
5.5.6	Horâmetro - Período de Amostragem	5.6
5.5.8	Timer - Programação de Tempo	5.6
5.6	Temperatura e Pressão Ambientes	5.6
5.7	Dados Iniciais a Serem Anotados no Formulário	5.6
5.8	Retirada do Filtro e do Frasco-Borbulhador para Análise	5.7
5.8.1	Material para o Campo	5.7
5.8.2	Checagens Pré-operacionais	5.7
5.8.3	Manuseio do Filtro	5.8
5.8.4	Manuseio do Frasco-Borbulhador	5.8
5.8.5	Dados finais a serem anotados no Formulário de Amostragem	5.9
6.0	**Análises e Resultados**	6.1
6.1	Volume do Ar Amostrado	6.1
6.1.1	Cálculo do Volume	6.1
6.1.2	Validação dos Cálculos do Volume	6.4
6.2	Análises	6.4
6.2.1	Fumaça (Método NBR 10736, Ref. 2 da Seção 8.0)	6.5
6.2.2	SO_2 (Método NBR 12979, Ref. 4 da Seção 8.0)	6.5
6.3	Cálculos das Concentrações	6.5
6.3.1	Fumaça (Método NBR 10736, Ref. 2 da Seção 8.0)	6.5
6.3.2	SO_2 (Método NBR 12979, Ref. 4 da Seção 8.0)	6.6
7.0	**Manutenção**	7.1
7.1	Filtro Membrana	7.1
7.2	Removedor de Névoa	7.1
7.3	Vacuômetro	7.1
7.4	Bomba	7.1
7.5	Painel de Comando	7.1
7.6	Porta-filtro de Inox	7.3
7.7	Refletômetro	7.3
7.8	Limpeza	7.3
8.0	**Referências**	8.1

Continua

Seção	Descrição	Pág.
	Apêndices	
A	Programador de Tempo (Timer Digital)	A.1
B	Horâmetro	B.1
C	Calibração do Bolhômetro	C.1
D	Calibração/Ensaio da Agulha Hipodérmica (Orifício Crítico)	D.1
E	Calibração do Programador de Tempo (Timer)	E.1
F	Procedimentos da U.S. EPA para a Determinação da Vazão de Amostragem no Campo	F.1
G	Exigências de Localização (da U.S. EPA)	G.1
H	Refletômetro – Manual de Operação	H.1
I	Formulários	I.1

1.0 INTRODUÇÃO

O amostrador OPSOMS é um instrumento projetado e fabricado para a amostragem e coleta de fumaça e de SO_2 no ar atmosférico. Ver a Figura 1.1 com uma visão geral do amostrador.

Numa descrição simplificada, o amostrador é formado por um trem de amostragem que, mediante o uso de uma bomba a vácuo, faz o ar atmosférico passar, com vazão conhecida, por um filtro especial, para retenção da fumaça, e, em seguida, por um frasco-borbulhador com solução de peróxido de hidrogênio, para retenção do SO_2. As amostras coletadas no filtro e no frasco-borbulhador são então levadas para análise posterior no laboratório.

A determinação da concentração de fumaça com o OPSOMS é feita pelo método da refletância da luz, objeto da norma ABNT NBR 10736. Outras informações pertinentes são encontradas no manual “Selected Methods of Measuring Air Pollutants, publicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Genebra, 1976. O nome OPSOMS, dado ao amostrador, vem do fato de que se trata de um instrumento difundido pela Organização Panamericana da Saúde (OPS) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A ENERGÉTICA fornece o instrumento para a medida da refletância, conhecido pelo nome de Refletômetro

Quanto à determinação da concentração de Dióxido de Enxofre (SO_2) com o OPSOMS, é feita pelo método do peróxido de hidrogênio, objeto da norma ABNT NBR 12979.

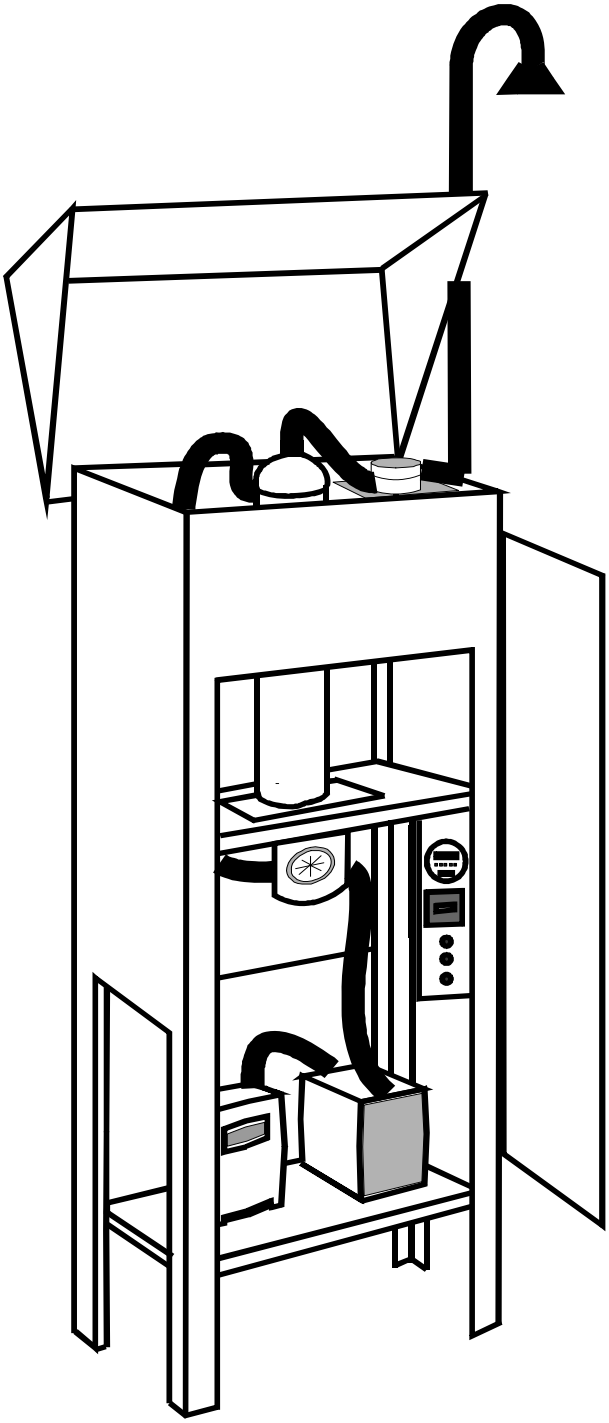
No Brasil, os padrões (primários e secundários) e os métodos de referência para Fumaça e SO_2 foram estabelecidos através da Resolução n° 3 do CONAMA, datada de 29/06/90. E, além dos métodos da ABNT, indicados acima, há, para ambos os poluentes, métodos similares emitidos pela CETESB e FEEMA.

O OPSOMS poderá, após certas adaptações no aparelho, ser utilizado para a determinação do SO_2 pelo método da pararrosanilina, do Dióxido de Nitrogênio (NO_2), do Ácido Sulfídrico (H_2S), da Amônia (NH_3) e de outros poluentes para os quais existam reagentes disponíveis para sua completa coleta mediante absorção. Especificamente para medições de SO_2 pelo método de pararrosanilina, em que a solução deve ser mantida abaixo de 20°C, o OPSOMS terá que ser dotado de um poço de refrigeração para o frasco/borbulhador com a solução. Para o método da pararrosanilina, recomendamos consultar o método ABNT NBR 9546.

Para a utilização do OPSOMS na determinação de outros poluentes como o NO_2, o H_2S e a NH_3, recomendamos consultar o manual do Dr. James Lodge, relacionado na Seção 8.0. Entretanto, antes de utilizar uma ou outra metodologia de coleta e análise, recomenda-se entrar em contato com o órgão local de controle ambiental para determinar se a metodologia a ser utilizada conta com aprovação.

O objetivo deste manual é permitir ao usuário conhecer as técnicas de operação do instrumento. Para informações mais detalhadas, sugerimos comunicar-se com a ENERGÉTICA ou com o especialista em poluição do ar do órgão de controle do vosso estado. Também recomendamos ao usuário consultar as publicações relacionadas na Seção 8.0, Referências.

Com o intuito de facilitar os trabalhos de calibração e amostragem do usuário, incluímos o Apêndice I (o último deste manual) com alguns formulários em branco. Estes formulários poderão, a critério do usuário, ser melhorados e impressos em papel timbrado de sua empresa.



- Em cima, o funil de captação e seu suporte e o borbulhador, filtros e orifício crítico;

- Embaixo, o gasômetro, o painel com horâmetro, timer, chave liga-desliga, sinaleiro e porta-fusível, a bomba a vácuo e o vacuômetro.

Figura 1.1 – Croqui do OPOMS com Tampa e Porta Abertas

2.0 APLICAÇÕES E PRINCÍPIOS

2.1 Aplicações e Princípios Gerais

As principais aplicações do equipamento são:

- Monitoramento da qualidade do ar através da determinação da concentração de fumaça e SO_2 na atmosfera;
- Estudos de Impacto Ambiental (RIMA-EIA) através da determinação de níveis preexistentes da qualidade do ar;
- Monitoramento de emissões fugitivas de processos industriais.

2.2 Princípio da Refletância da Luz

O emprego da refletância se baseia no princípio de que se pode correlacionar medida de massa com medida óptica. Devido às características físicas das partículas, esta correlação torna-se difícil. Entretanto, tem-se verificado que o tamanho e composição das partículas permanecem uniformes num determinado local, de modo a se poder estimar a concentração da massa.

Após uma coleta, a amostra é levada para um refletômetro, onde é determinada a refletância das partículas.

A concentração superficial de fumaça é dada em termos de “fumaça normalizada internacional”, obtida em função do fator de refletância, mediante uma curva de calibração específica para o papel de filtro e o refletômetro empregados. O gráfico, na realidade, usa, na abcissa, um “índice de obscurecimento”, em vez de fator de refletância.

Pode ser usado papel de filtro de celulose ou de fibra de vidro, comumente circulares, de diâmetros diferentes, para a coleta da fumaça. O filtro mais comumente empregado no Brasil é o Whatman n° 1, com diâmetro externo de 55 mm. O método NBR 10736 exige que a área exposta do filtro, durante a amostragem, seja de no mínimo 10 cm^2 (36 mm de diâmetro).

A construção de uma curva de calibração, para um determinado refletômetro e um determinado papel de filtro, é mostrada na publicação da OMS indicada na introdução deste manual.

2.3 Princípio dos Métodos por Absorção

A absorção de poluentes em vários meios tem um papel importante no monitoramento da poluição do ar. É particularmente importante nos métodos de análise química por via úmida.

A absorção é o processo "de transferência de um componente gasoso para um meio líquido ou sólido no qual ele se dissolve". A absorção de poluentes gasosos em solução é frequentemente utilizada em amostragem atmosférica por causa dos numerosos métodos disponíveis para analisar a solução resultante. São conhecidas as técnicas fotométrica, condutimétrica e titulométrica.

Antes do advento da instrumentação de monitoração contínua, as técnicas com emprego da absorção eram os métodos mais modernos disponíveis. Hoje, porém, principalmente em países mais desenvolvidos, esses métodos têm sido praticamente abandonados e substituídos por métodos automáticos, contínuos, sem uso de reagentes, com menos interferentes e menos mão de obra.

Detalhes da amostragem e análise do poluente gasoso SO_2 pelo método da absorção em pararrosanilina e pelo método da absorção em peróxido de hidrogênio são apresentados na norma pertinente (NBR 12979).

2.4 Princípio de Operação

O princípio de operação do OPSOMS é simples: Um volume conhecido do ar amostrado é succionado, por uma bomba de vácuo de potência adequada, através de um sistema de amostragem conforme ilustrado pelo diagrama pneumático da Figura 2.1.

O ar ambiente entra no trem de amostragem por um funil invertido conectado a um tubo flexível. O objetivo do funil é reduzir a possibilidade de entrada e coleta de gotas d'água durante período de chuva, assim como de partículas grandes. O tubo flexível é inerte tanto à fumaça quanto ao SO_2.

Em seguida, o ar passa pelo filtro Whatman n° 1, alojado em um porta-filtro especial, de inox, deixando, neste filtro, em forma de mancha circular, enegrecida, a fumaça nele contida.

Após passar pelo filtro, o ar, praticamente isento de partículas, passa pelo frasco-borbulhador, onde a solução de peróxido de hidrogênio, através do contato íntimo, aspira e absorve o SO_2, formando-se ácido sulfúrico.

Após o frasco-borbulhador, o ar, já sem os poluentes, segue para o medidor de gás (gasômetro), onde é totalizado o volume de amostragem. O gasômetro é munido de termômetro e de manômetro, cujas leituras de temperatura de pressão diferencial servem para a correção do volume de ar no que diz respeito à temperatura e pressão.

Em seguida, o ar, passa por um filtro de membrana, com porosidade de 0,8 µm, para eliminar qualquer vestígio de gotículas ou partículas que possam entupir o orifício crítico. Finalmente, sem gotículas e partículas, passa pelo orifício crítico, que limita e controla continuamente a vazão de amostragem.

O fluxo de ar segue então para a bomba a vácuo.

Determinação do Volume

O volume do fluxo gasosos através do sistema é determinado com um medidor de gás seco (gasômetro), enquanto que a vazão é mantida relativamente constante por meio de um orifífio crítico, previamete ajustado para a faixa de vazão ditada pelo método

O volume é determinado totalizando-se a quantidade de ar que passa pelo gasômetro. A totalização é a diferença entre a leitura final e a leitura inicial do medidor. Feito isso, o volume é corrigido segundo a expressão abaixo.

$$V_i = (Y)(V_r)\left(\frac{P_a - dH_s/1{,}36}{760}\right)\left(\frac{298}{t_s + 273}\right) \qquad \text{Equação 2.1}$$

onde:

V_p = volume de ar d amostrados, em condilções padrão, L padrão

Y = fator de correção do gasômetro, tirado do certificado

V_r = volume de ar totalizado, dado pela diferença entre as leituras do gasômetro no início e no fim da amostragem, em condições reais, em L

O volume de ar (V_{ar}) que passa pelo frasco-borbulhador, em L, é calculado multiplicando-se a vazão (Q_{oc}) limitada pelo orifício crítico, em L/min, pelo tempo de amostragem (t_a), em minutos. As vazões do orifício crítico são determinadas por meio de um dispositivo de medida de vazão, como, por exemplo, um bolhômetro, isto é, medindo-se o tempo gasto por uma bolha para percorrer um tubo de vidro de volume conhecido.

O OPSOMS é fornecido com um medidor de gás (gasômetro), com o objetivo de corroborar o volume total dos fluxos gasosos através dos orifícios críticos. Neste caso, o gasômetro deve ter um fator de correção conhecido ou trabalhar dentro de uma margem de erro permissível. Por outro lado, a bomba não deve permitir entrada falsa de ar.

Concentração de fumaça

O peso das partículas retidas no filtro (em μg) é determinado calculando-se, primeiramente, a concentração superficial (em μg/cm^2), usando-se, para isso, um refletômetro, e, depois, multiplicando-se o valor calculado da concentração superficial pela área (cm^2) de coleta do filtro. Com o refletômetro, determina-se a refletância da mancha formada no papel de filtro e, mediante uma curva padrão, avalia-se a concentração da fumaça na superfície do filtro.

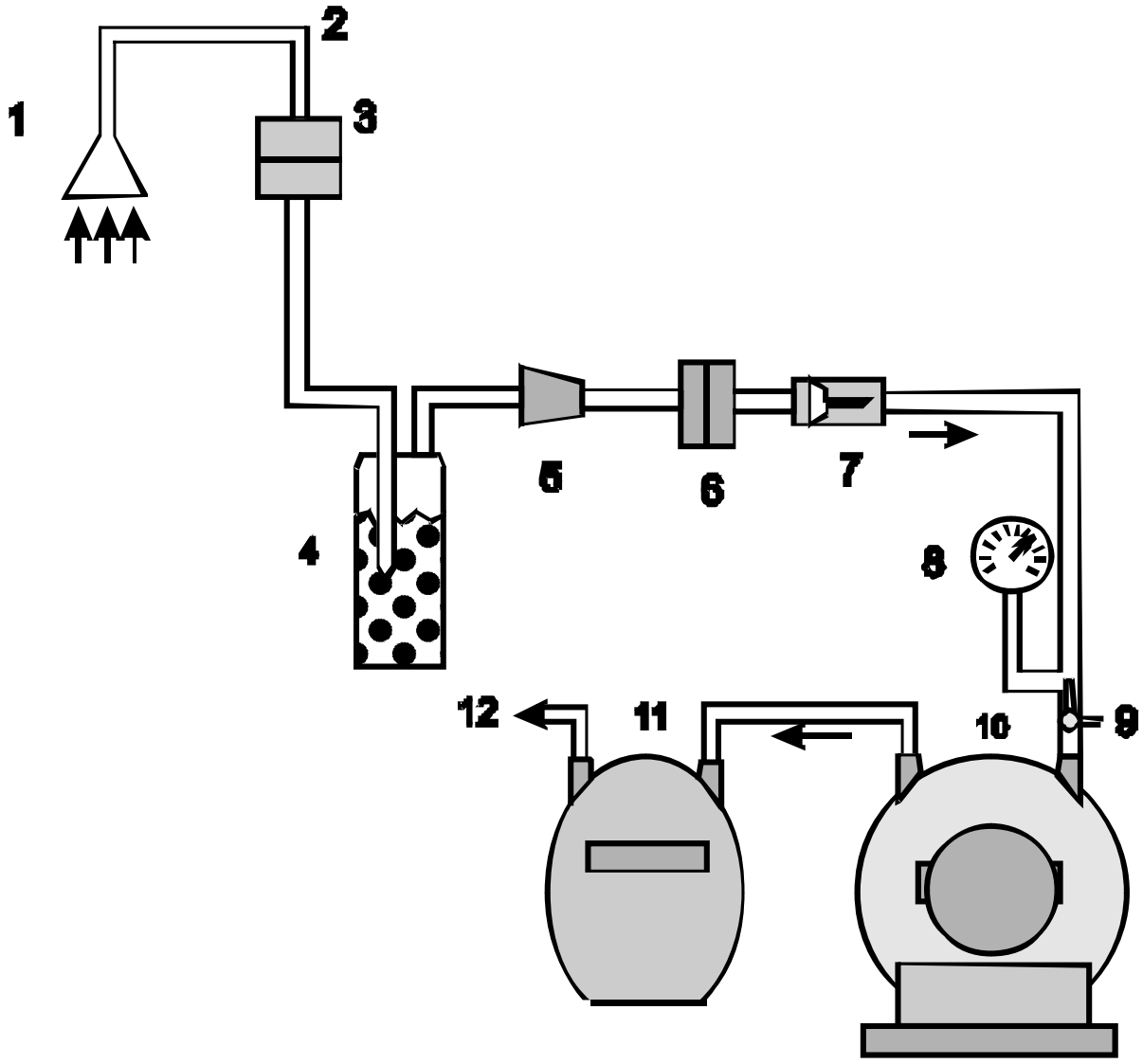
A concentração da fumaça é calculada pela fórmula:

$$C_{FUMAÇA} = \frac{sA}{V_{ar}} 10^3 \qquad \text{(Eq. 6.2)}$$

onde:

***C*$_{FUMAÇA}$** = concentração de "fumaça normalizada internacional", em μg/m^3
s = concentração superficial de "fumaça normalizada internacional", em μg/cm^2,
A = área da mancha, em cm^2,
***V*$_{ar}$** = volume de ar corrigido para 25 °C e 760 mm Hg, em ℓ

Maiores detalhes sobre a expressão acima (Eq. 6.2) são apresentados na Subseção 6.3.3.



1 - Funil de captação	7 - Orifício crítico
2 - Mangueira flexível	8 - Vacuômetro
3 – Porta-filtro de inox	9 – Válvula de agulha
4 - Frasco-borbulhador com reagente	10 - Bomba a vácuo
5 - Filtro para retenção de gotículas	11 - Gasômetro
6 - Filtro para retenção de partículas	12 - Saída para a atmosfera

Figura 2.1 – Diagrama do Sistema Pneumático do OPSOMS

Concentração de SO_2

Para o SO_2, o ácido sulfúrico, que se forma no frasco-borbulhador, é posteriormente quantificado em laboratório através de uma solução de tetraborato de sódio. O ponto de viragem é determinado com um indicador.

A expressão para a concentração de SO_2 é dada pela Equação 6.3:

$$C_{SO2} = \frac{128 \times V_{solução}}{V_{ar}} \qquad \text{Equação 6.3}$$

onde:

C_{SO2} = concentração de SO_2, em $\mu g/m^3$
$V_{solução}$ = volume da solução de tetraborato de sódio 0,004 N gasto na titulação, em m^3
V_{ar} = volume de ar corrigido para 25 °C e 760 mm Hg, em L

Maiores detalhes sobre a expressão acima (Eq. 6.3) são apresentados na Subseção 6.3.4.

2.5 Princípio do Orifício Crítico

Como já mencionado, o OPSOMS é equipado com um orifício crítico.

Os seguintes tipos de orifícios críticos poderiam ser usados indistintamente no OPSOMS:

- Agulhas hipodérmicas
- Capilares de vidro

Entretanto, a ENERGÉTICA tem optado pela agulha hipodérmica, por ser facilmente encontrada no mercado.

Com o orifício crítico, em certas condições especiais, consegue-se manter a vazão através dos borbulhadores a um valor constante, independente de flutuações na tensão elétrica ou na velocidade da bomba.

Quando um gás, fluindo através de um orifício crítico, alcança a velocidade do som, o quociente das pressões a jusante e a montante do orifício, $Pabs_j/Pabs_m$, passa a ser denominado "quociente crítico de pressões" e é dado por:

$$\left(\frac{Pabs_j}{Pabs_m}\right)_{Crit} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \qquad \text{Equação 2.1}$$

onde:

$Pabs_j$ = pressão absoluta a jusante do orifício
$Pabs_m$ = pressão absoluta a montante do orifício
k = relação de calores específicos do gás

Como estamos lidando com poluição atmosférica, o gás que flui no orifício é praticamente o ar. Sendo assim, à pressão atmosférica (k = 1,4, para o ar) a equação acima se reduz a:

$$\left(\frac{Pabs_j}{Pabs_m}\right)_{Crit} = 0{,}53 \qquad \text{Equação 2.2}$$

A partir desse valor, ainda que se diminua a pressão a jusante, a pressão no orifício continua sendo $Pabs_j$, dada pela equação acima. Assim, a vazão se mantém com um valor máximo constante, sendo então chamada de "vazão crítica".

Teoricamente, portanto, a vazão se mantém crítica enquanto a relação de pressões seja satisfeita pela expressão:

$$\left(\frac{Pabs_j}{Pabs_m}\right)_{Crit} \leq 0{,}53 \qquad \text{Equação 2.3}$$

Cabe salientar que enquanto valer a relação acima, a vazão, para um certo orifício crítico, fica dependendo apenas da pressão e da temperatura a montante do orifício, conforme confirmado pela equação de Fliegner (tomada do Manual do Engenheiro Químico de Perry) abaixo:

$$W = 0{,}528\frac{CvS_2Pabs_m}{T_m} \qquad \text{Equação 2.4}$$

onde:

W = vazão mássica (lb/s)
C_v = coeficiente de velocidade
S_2 = seção do orifício (ft^2)
$Pabs_m$ = pressão absoluta a montante (lb/in^2)
T_m = temperatura absoluta a montante (graus Rankine)

Na prática, reduz-se o valor condicionante da Equação 2.3 de 0,53 para 0,45, de modo que as novas condições passam para:

$$\left(\frac{Pabs_J}{Pabsm}\right) \leq 0{,}45 \qquad \text{Equação 2.5}$$

Isto significa que se está trabalhando com mais segurança, muito embora se passe para condições mais severas.

Como as condições acima são para condições atmosféricas normais (760 mmHg),

$$Pabs_j \leq 342 \text{ mmHg} \qquad \text{Equação 2.6}$$

Num aparelho como o OPSOMS, o orifício crítico é sempre posicionado após o sistema de retenção de poluentes e de filtros de proteção, de modo que $Pabs_m$ é sempre menor que a pressão atmosférica (P_b, medida com um barômetro). Assume-se, da experiência, que:

$$Pabs_m = P_b - 25 \text{ mmHg} \qquad \text{Equação 2.7}$$

Na prática, mede-se $Pabs_j$ por meio de um vacuômetro. No OPSOMS, o vacuômetro é localizado entre o orifício e a bomba. Chamando a medida do "vácuo" no vacuômetro de P_g, tem-se:

$$Pabs_j = P_b - P_g \qquad \text{Equação 2.8}$$

Substituindo as expressões de $Pabs_m$ e $Pabs_j$ logo acima na expressão das condições para vazão crítica, tem-se:

$$\left(\frac{Pabs_j}{Pabsm}\right) = \left(\frac{Pb - Pg}{Pb - 25mmHg}\right) \leq 0{,}45 \qquad \text{Equação 2.9}$$

Rearranjando, tem-se para a leitura no vacuômetro:

$$P_g \geq 0{,}55\ (P_b + 20{,}45) \text{ mm Hg} \qquad \text{Equação 2.10}$$

Para um local ao nível do mar, isto significa que tem-se vazão crítica enquanto o vácuo (P_g) for maior ou igual a 429 mm Hg.

A bomba utilizada no OPSOMS é dimensionada para manter este vácuo com uma vazão total de até 4 L/min aproximadamente.

Conforme já se viu na Equação de Fliegner acima (Equação 2.4), a vazão num certo orifício é função direta da pressão a montante do orifício. Sendo assim, deduz-se que a vazão se reduz à medida que o orifício for utilizado a alturas mais altas com relação ao nível do mar. Por esta razão, deve-se ficar atento às necessidades de recalibração ou de correções de pressões quando se utilizar um orifício em alturas diferentes daquela onde ele foi previamente calibrado.

Estudos sobre o uso de agulha hipodérmica como orifício crítico são apresentados na Ref. 9 do Capítulo 8.0.

Os dados de calibração fornecidos inicialmente com o OPSOMS são normalmente para condições padrão de temperatura e pressão. Entretanto, ao utilizar o orifício fornecido pela ENERGÉTICA, o usuário fica na obrigação de duas coisas: recalibrar o orifício no local de amostragem ou tomar a vazão calculada pela ENERGÉTICA e corrigi-la para as condições locais pela relação $[(P_1/P_2)\ (T_2/T_1)]^{1/2}$, onde P_1 e T_1 são a pressão atmosférica (mmHg) e a temperatura ambiente (K) medidas no local da calibração do orifício e P_2 e T_2 são a pressão atmosférica (mmHg) e a temperatura ambiente (K) medidas no local de amostragem.

Finalmente, o usuário deve ficar atento para a variação do vácuo mínimo para condições críticas com a altura em relação ao nível do mar. A Tabela 2.1 apresenta valores desse vácuo mínimo, calculados pela expressão 0,55 (Pb + 20,45), em mm Hg, para várias alturas em relação ao nível do mar.

Tabela 2.1 Vácuo Mínimo Necessário para Condições Críticas

Elevação (m)	Pressão Atmosférica (P_b) (mm Hg)	Vácuo Mínimo para Condições Críticas (P_g) (mm Hg)
0	760	429
200	742	419
500	716	405
1000	672	381
1500	628	357

3.0 O EQUIPAMENTO

3.1 Componentes

O OPSOMS ENERGÉTICA é formado pelos seguintes componentes:

- Casinhola de alumínio anodizado com tampa e porta;
- Funil de captação, mangueira de entrada e suporte do funil ajustável até 3 m;
- Porta-filtro para retenção de fumaça;
- 1 frasco/borbulhador, 1 filtro automotivo, 1 filtro membrana com 0,8 µm de porosidade, 1 orifício crítico, mangueiras teflon ou tygon;
- Bomba a vácuo, com ventilador, vacuômetro e válvula de agulha;
- Timer digital para programação semanal de operação;
- Horâmetro; e
- Medidor de gás (gasômetro).

O sistema de coleta do OPSOMS é representado pelo croqui da Figura 2.1.

3.2 Dados Técnicos

Casinhola:	
• Material.....	Alumínio anodizado
• Altura.....	137 cm
• Laterais tampa.....	47 x 47 cm
• Laterias base.....	38 x 38 cm
Captação da amostra:	
• Funil.....	De vidro borossilicato, com boca de 40 mm de diâmetro
• Tubo de captação.....	De mangueira de PVC, com ¼" de diâmetro interno
• Suporte do sistema.....	De tubo de alumínio, desmontável, com ajuste, permitindo altura de até 3 m para o funil
Porta-filtro para Fumaça:	Porta-filtro de inox, com 10 cm^2 de área de passagem aproximadamente, para portar filtro Whatmam nº 1
Deslocamento da Amostra:	
• Bomba a vácuo.....	Diafragma, marca Gast, com 1/8 Hp, 120 V ou 220 V, monofásica, vácuo máximo de 647 mmHg (85%) e deslocamento máximo de 30,5 L/min
• Condições críticas.....	Até 4 L/min
• Vacuômetro.....	Escalas de 0 a 760 mmHg e de 0 a 30 "Hg
Controle da Vazão:	
• Orifício crítico.....	1 agulha hipodérmica, de 2,0 L /min
• Medidor de Gás.....	Gasômetro seco, com leitura mínima de 0,2 L
Proteção do Orifício:	
• Removedor de névoa.....	Filtro do tipo utilizado em motor a gasolina de motocicleta
• Removedor de partículas	Fibra membrana com 0,8 µm de porosidade e 37 mm de diâmetro, em porta-filtro de acrílico
Sistema de Amostras:	
• Frasco-Borbulhador.....	1 conjunto frasco/borbulhador, de borossilicato (150 mL□)
• Até porta-filtro inox.....	Mangueira de PVC, com ¼" diâmetro interno
• Entre porta-filtro inox e frasco-borbulhador.....	Mangueira de PVC, com ¼" diâmetro interno
Temporizadores:	
• Horâmetro.....	Eletromecânico, resolução de 1/100 hora
• Timer	Digital, com precisão de 1 seg, programável em toda a semana, com bateria descartável

Dados Técnicos (continuação):

Auxiliares:	
Ventilador da bomba.....	45,8 L/s, 110 V ou 220 V, 15 W
Peso do OPSOMS:	
• Bruto.....	33 Kg (aproximadamente)

3.3 Montagem

3.3.1 A Casinhola

A casinhola do OPSOMS já é fornecida montada, à exceção do sistema de captação, que é montado quando da colocação do OPSOMS no seu local de operação.

A casinhola tem dois compartimentos: um superior, onde são colocados o porta-filtro de inox, o frasco-borbulador, os filtros de remoção de gotículas e de partículas e a agulha hipodérmica, e um inferior, onde se localizam a bomba a vácuo e seus ventilador, vacuômetro e válvula de agulha e o gasômetro.

O acesso ao compartimento superior é pela tampa, em forma de teto. A tampa é mantida aberta com o auxílio de uma escora de alumínio localizada no interior da parede lateral direita do aparelho. Mantém-se a tampa fechada com um cadeado fornecido com o conjunto. Já o acesso ao compartimento inferior é pela porta do aparelho, que se mantém fechada por um fecho à chave.

A comunicação entre os compartimentos se dá por um furo na bandeja superior, onde é instalada a sede do orifício crítico.

A casinhola tem dois ganchos, na sua parte traseira, para enrolamento do cabo elétrico externo quando não estiver em uso.

3.3.2 O Sistema de Captação

A Figura 3.1 mostra o croqui do suporte do funil armado na lateral do OPSOMS.

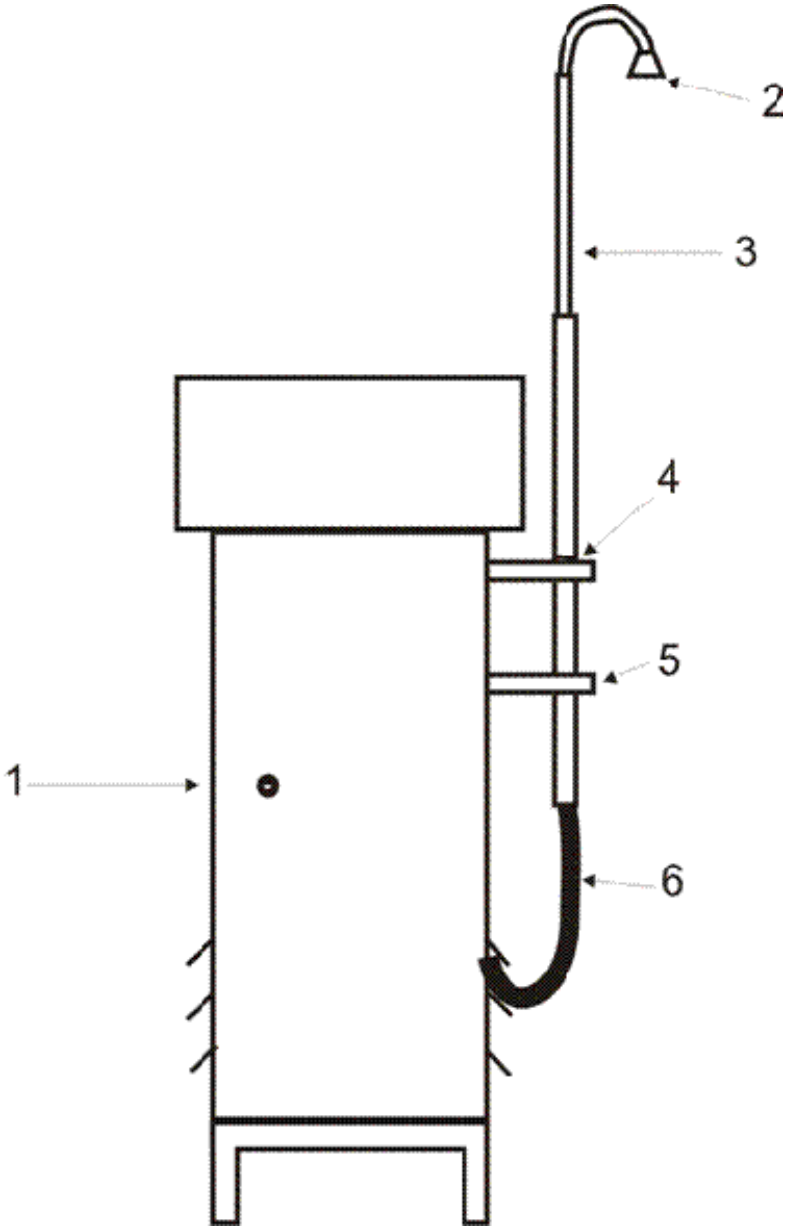
O suporte consiste em dois pedaços de tubo de alumínio, encaixáveis um no outro, de modo que a mangueira de PVC passe pelo interior de toda a extensão montada.

O tubo de alumínio superior entra justo dentro do tubo base e é dotado de uma presilha ajustável que serve de batente contra a abertura superior do tubo base. Esta presilha é do tipo usado para aperto de mangueiras de veículos motorizados. Além de servir de batente, ela serve para regular a altura do funil de captação com relação ao solo.

O tubo base, de maior comprimento e com maior diâmetro, se apoia em duas orelhas com furos, fixadas na lateral da casinhola, e é dotado também de uma presilha igual à do tubo intermediário, que serve de batente contra a orelha superior. Esta presilha é também usada para regular a altura do funil.

Todo o suporte é montável e desmontável rápida e facilmente. Entretanto, devido à altura em que fica o funil, é aconselhável montá-lo no solo ou num mesa, antes de fixá-lo na vertical. Este procedimento facilita a colocação da mangueira de captação pelo interior dos tubos de alumínio.

A mangueira de PVC tem um comprimento tal que sobra um pedaço pela extremidade inferior do tubo base de alumínio. Este excesso é suficiente para o acoplamento ao bico de entrada do porta-filtro de inox. O acesso a este é, primeiramente, pela veneziana, e, em seguida, por um furo na bandeja superior da casinhola.



1 - Casinhola
2 - Funil de captação
3 - Tubo de suporte do funil
4 - Presilha para batente
5 - Orelha de apoio
6 - Mangueira

FIGURA 3.1 - Croqui da Casinhola do OPSOMS com Funil de Captação e seu Suporte

Quando colocado, o funil, em posição invertida, deve ficar com sua boca na posição horizontal, de modo a evitar que entre água da chuva.

A colocação do suporte na lateral do OPSOMS, apoiado nas duas orelhas, não impede que se mova a tampa do aparelho livremente.

Com todos os cuidados acima, o suporte, com o funil e a mangueira de PVC, estarão prontos. Aí, então, basta levantar a tampa do aparelho e acoplar a extremidade da mangueira de PVC ao bico anterior do porta-filtro de inox.

3.3.3 Conjunto Porta-Filtro de Inox, Frasco-Borbulhador, Filtros de Proteção e Orifício Crítico

O Arranjo

O porta-filtro de inox, o frasco-borbulhador, o filtro automotivo para remoção de gotículas, o filtro-membrana para remoção de partículas e o orifício crítico são posicionados sobre a bandeja superior do OPSOMS. Ver esquema na Figura 2.1.

O frasco-borbulhador é alojado numa base especial de plástico ou de alumínio, que o mantém em posição.

O gás entra no frasco-borbulhador através da mangueira que vem do porta-filtro.

Em seguida ao frasco-borbulhador, vem o filtro automotivo, conectado àquele por um pedaço de mangueira. O filtro-membrana, por sua vez, conecta-se ao filtro de gasolina também por um pedaço de mangueira.

O orifício crítico é alojado em um bico especial de inox fixado na bandeja superior. Sua conexão ao porta-filtro-membrana se dá por um pedaço de mangueira. O valor da vazão crítica do orifício é afixado no porta-filtro do filtro-membrana, sempre de maneira visível.

A saída do gás do orifício crítico se dá por baixo da bandeja superior, pela mangueira que segue para a bomba a vácuo, localizada no compartimento de baixo. Esta mangueira que vai para a bomba é de PVC comum.

O frasco-borbulhador pode ser levado como um todo para o laboratório, bastando, para isso, apenas que se desconecte as mangueiras de entrada e de saída.

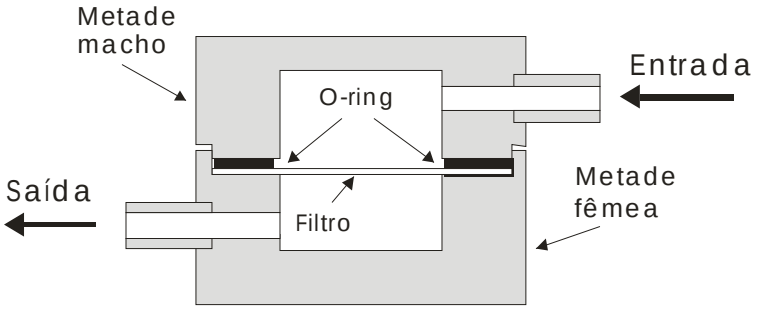
O Porta-Filtro de Inox (Figura 3.3)

O porta-filtro consiste em duas metades de aço inox, encaixáveis uma na outra, um anel o-ring e um sistema para manter as duas metades pressionando o filtro e para evitar entrada falsa de ar. Ver croqui na Figura 3.3.

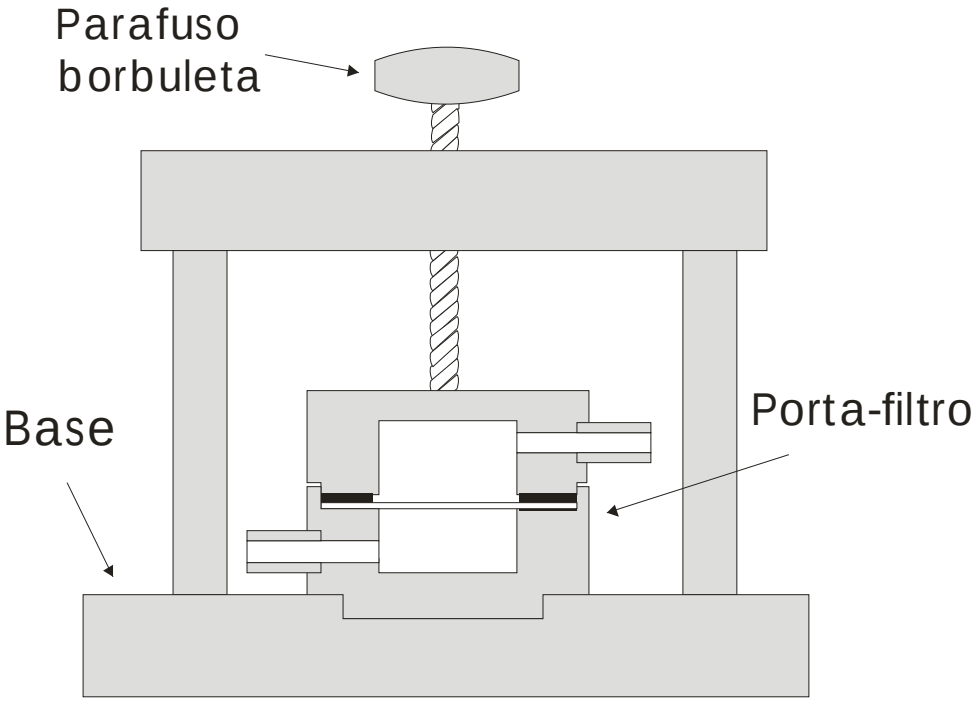
O porta-filtro, para filtro de 55 mm de diâmetro, permite a formação de camadas (manchas) de fuligem de 36 mm de diâmetro.

O papel de filtro é colocado sobre a “sede” da metade fêmea e, em seguida, apertado, por cima, com a metade macho, ficando, assim, bem centrado e possibilitando a formação de uma mancha perfeitamente circular.

O o-ring utilizado no porta-filtro é para vedação. Ele é encaixado no rebaixo externo da metade macho do porta-filtro, ficando preso apenas por esticamento. Ao se apertar as duas metades, o o-ring vai se esmagando até que as “sedes’ de ambas as metades do porta-filtro se encontrem no aperto total do papel de filtro.



Seção Longitudinal
do Porta-Filtro



Sistema de Aperto

Figura 3.3 Porta-filtro de Inox

As metades do porta-filtro são mantidas apertadas por um sistema especial, onde são encaixadas (ver Figura 3.3). O aperto é por um parafuso com manípulo circular recartilhado.

Após montado e com o filtro apertado, o porta-filtro e seu sistema de aperto são posicionados verticalmente na sua chapa de sustentação fixada na parede interna lateral do OPSOMS. Quando na posição correta, o filtro fica na horizontal, em conformidade com a norma.

A chapa de sustentação do porta-filtro é dotada de uma camada de borracha, especialmente cortada, de modo a evitar que o porta-filtro caia ou faça barulho em decorrência da vibração do OPSOMS em funcionamento.

Cada metade do porta-filtro é dotada de um bico para encaixe da mangueira de passagem do ar amostrado. O bico que fica por cima recebe a ponta da mangueira que vem do funil de captação, enquanto que o que fica por baixo recebe a mangueira que se conecta ao frasco-borbulhador. Deste modo, a mancha se forma na parte superior do filtro.

O Frasco-Borbulhador (Figura 3.4)

O frasco-borbulhador, indicado pela ABNT (Ref. 4 da Seção 8.0), é de 150 mL. Tanto seu frasco externo como o borbulhador são de borossilicato. A ponta do borbulhador é normal, não havendo necessidade de afunilamento.

Para uso nas amostragens, requer-se todo o cuidado na limpeza, manuseio e transporte do frasco/borbulhador. Por exemplo, todos os componentes do conjunto têm que ser devidamente limpados antes de receberem os reagentes. Isto é feito normalmente no laboratório.

Após a colocação do reagente no frasco, são recomendadas a inserção imediata do respectivo borbulhador e as providências de vedação das juntas. No conjunto com frasco de vidro, por exemplo, é permitido usar graxa de silicone de alto vácuo nas juntas cônicas, se necessário para vedação.

O Orifício Crítico (Figura 3.5)

Conforme já mencionado, a ENERGÉTICA utiliza agulhas hipodérmicas previamente calibradas como orifícios críticos.

No OPSOMS, a agulha é alojada em sede de inox, projetada tendo-se em mente reduzir ao máximo o risco de entrada falsa de ar pela agulha. Esta sede é fixada na bandeja superior. Além da sede, faz parte do conjunto de alojamento da agulha uma peça tubular, com uma de suas extremidades em formato cônico, e um manípulo recartilhado para aperto. Ver detalhes na Figura 3.5.

A extremidade da sede é de formato cônico fêmea, de modo a receber a base de formato cônico macho da base da agulha. Obviamente, a agulha é alojada com a ponta para dentro da sede. Com a agulha no lugar, insere-se, na da base da agulha, o macho cônico de inox que está preso à mangueira que se liga ao filtro automotivo. Em seguida, rosqueia-se a peça recartilhada contra a rosca macho da sede, apertando-se, assim, a base da agulha. Aperte o suficiente para evitar entrada falsa de ar, porém evite aperto em demasia, pois pode danificar a base da agulha.

3.3.4 Estanqueidade do Sistema

O sistema de passagem do ar amostrado não deve ter entrada falsa de ar (vazamento), particularmente no segmento que vai da entrada do frasco-borbulhador ao orifício crítico, pois a vazão de ar no frasco-borbulhador deve ser a mesma que no orifício crítico.

Um teste de vazamento muito comum consiste em:

- Desconectar a mangueira do bico de entrada do frasco-borbulhador.

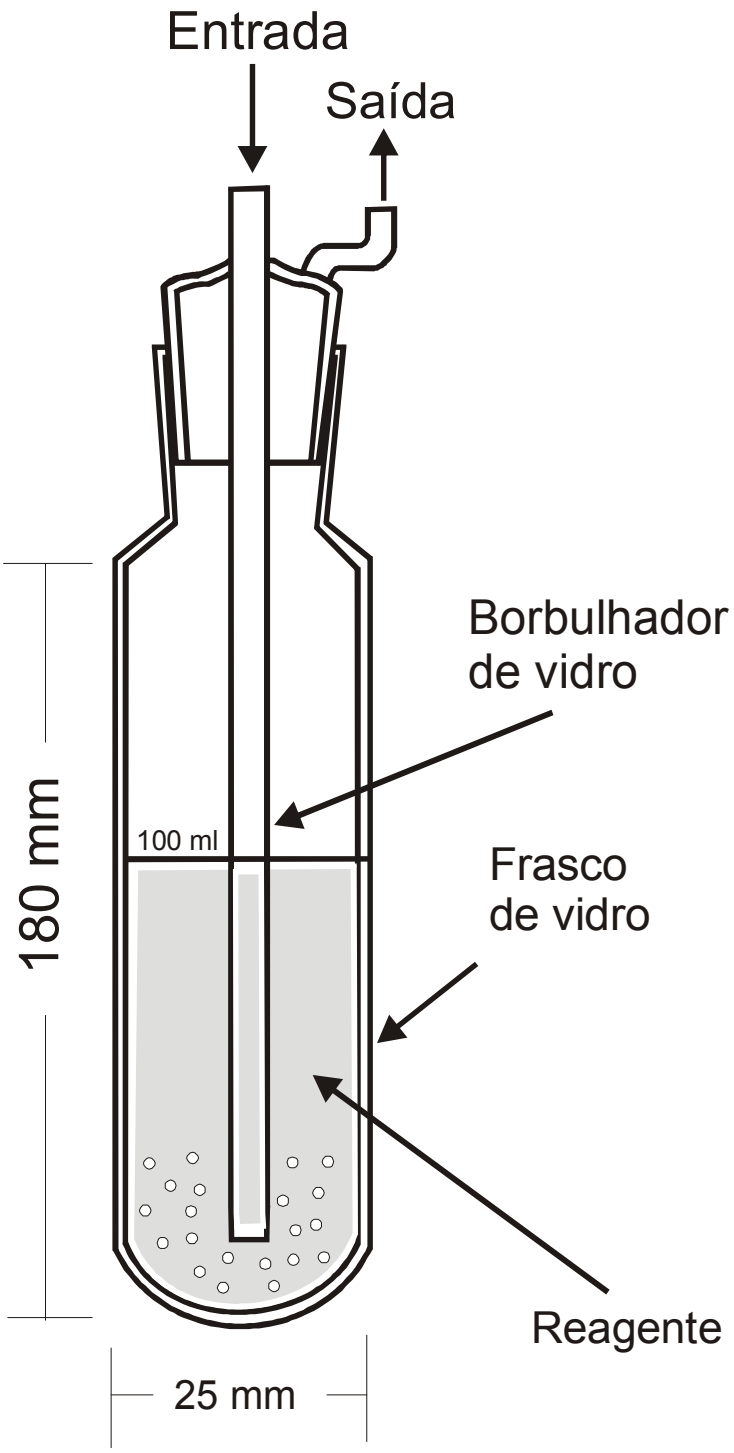


Figura 3.4 – Frasco-borbulhador Utilizado no OPSOMS

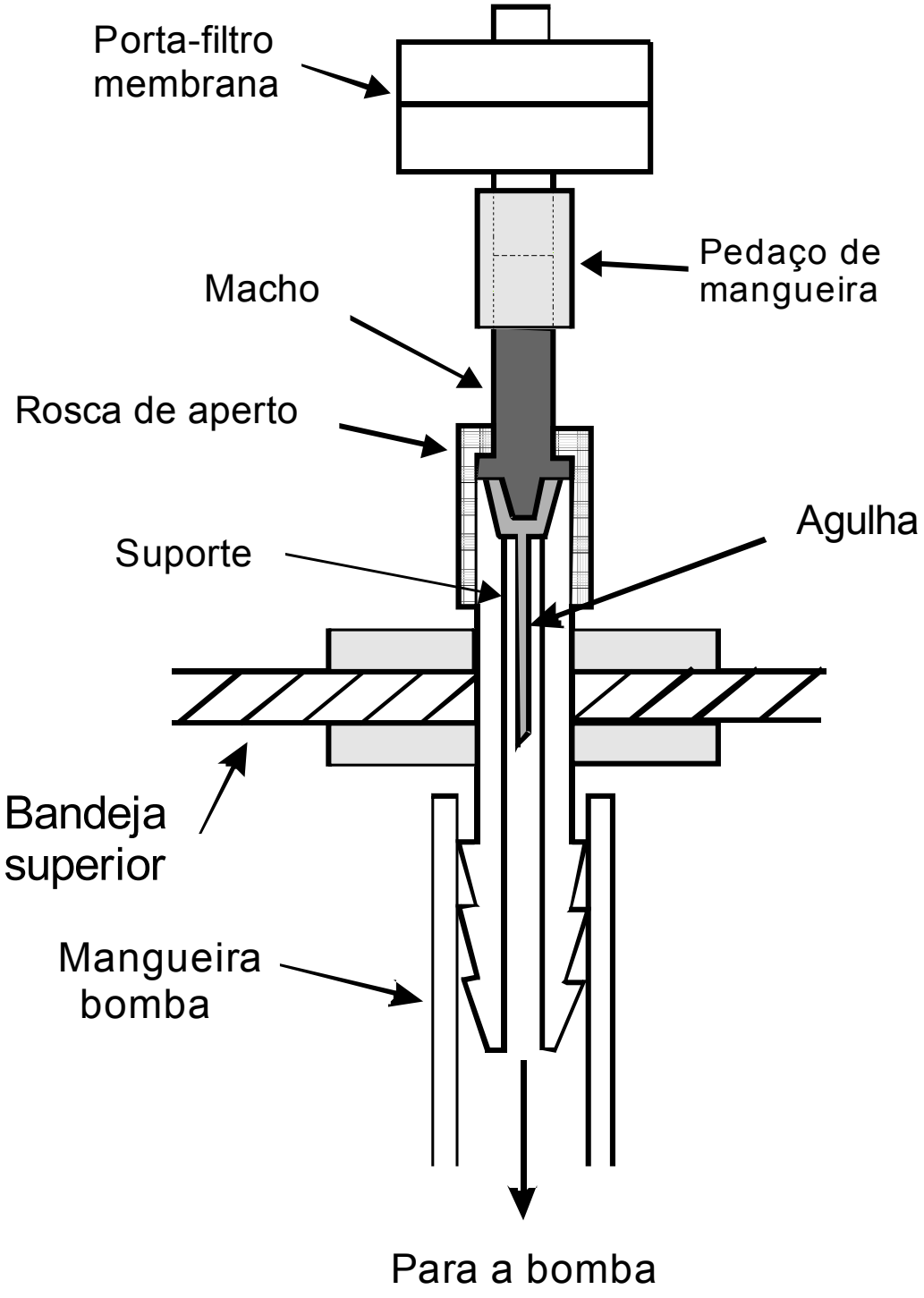


Figura 3.5 - Orifício Crítico

- Com uma rolha ou o dedo umedecido, fechar a entrada do frasco-borbulhador.

- Ligar a bomba e aguardar até que se estabilize a leitura no vacuômetro, próxima ao vácuo máximo da bomba, de 647 mmHg.

- Desligar a bomba e certificar-se de que a leitura no vacuômetro permanece inalterada. Caso se altere, é porque há entrada falta de ar, devendo-se, portanto, localizar e eliminar o vazamento.

Fazendo o teste acima, está-se checando vazamentos entre a entrada do frasco-borbulhador e a bomba (inclusive). Às vezes, a bomba, mesmo mantendo vácuo suficiente, permite alguma entrada falsa de ar, acarretando dificuldade no teste acima. Contorna-se esta dificuldade com a válvula de agulha entre o vacuômetro e a bomba. Quando a válvula está fechada, seu manípulo fica transverso ao fluxo; quando aberta, o manípulo fica na direção do fluxo.

Para localizar um vazamento, é recomendável que se parta do frasco-borbulhador para a bomba, segmento por segmento. Por exemplo, o primeiro segmento seria a mangueira que liga o frasco-borbulhador ao filtro automotivo. Far-se-ia então o mesmo teste como descrito nos quatro passos acima. Caso não indicasse vazamento, partir para o segmento que vai da saída do filtro automotivo para a entrada do porta-filtro membrana. E assim por diante, até chegar na entrada da bomba.

3.3.5 Energização do Amostrador

O OPSOMS é projetado para voltagem de 120 ou de 220 V.

Toda a instrumentação principal de controle do OPSOMS está localizada num painel localizado à direita (do operador), no interior do aparelho. Neste painel estão localizados, de cima para baixo, o horâmetro, o timer digital, a chave liga/desliga, o sinaleiro e o porta-fusível. O OPSOMS é fornecido com um cabo elétrico externo de 5 m de comprimento e respectivo plugue.

A ligação é feita pela chave liga-desliga. O sinaleiro se acende quando é feita a ligação.

Recomenda-se usar fusível de 10 A (para 110 V) ou de 5 A (para 220 V).

Entre a entrada de alimentação e os consumidores (bomba a vácuo e horâmetro) fica o timer, e só quando este é acionado é que aqueles se energizam.

3.3.6 Liga-Desliga e Contagem do Tempo

O timer do OPSOMS é digital, de alta precisão e tem sensibilidade de 1 segundo. Sua função é apenas de ligar e desligar o aparelho de forma programada. Ver detalhes do timer no Apêndice A.

O horâmetro, por sua vez, tem uma sensibilidade de 1/100 hora. Ver detalhes de seu funcionamento no Apêndice B. O tempo real de amostragem é indicado pela diferença entre as leituras inicial (início da amostragem) e final (término da amostragem).

3.3.7 Gasômetro

O medidor de gás (gasômetro) do OPSOMS serve para confirmação do volume de amostragem calculado em função da vazão no orifício crítico, verificando-se, assim, se não houve, durante a amostragem, perda de condições críticas decorrentes, por exemplo, de redução da potência da bomba. O gasômetro não deve ser utilizado para a medida direta de volume.

No OPSOMS, o gasômetro é instalado após a bomba a vácuo. Por esta razão, a bomba a vácuo não deve ter entrada falsa de ar; caso contrário, o uso do gasômetro pode perder sua validade.

Também deve-se levar em consideração que, pelo fato do gasômetro estar após a bomba, o ar que ele recebe é quente, podendo ocorrer um aumento de até 10 % na sua leitura.

O gasômetro empregado pela ENERGÉTICA é calibrado no fabricante para um erro de ± 2% (norma das concessionárias de gás).

4.0 CALIBRAÇÃO

4.1 Considerações Preliminares

Antes de iniciar a amostragem e análises dos poluentes (fumaça e SO_2), o usuário deve certificar-se de que os equipamentos de amostragem e de análise estão devidamente calibrados.

No caso do OPSOMS tem-se que manter calibrados os seguintes instrumentos (ver matriz de calibração na Tabela 4.1 no fim desta seção):

- bolhômetro
- orifício crítico (agulha hipodérmica)
- horâmetro
- programador de tempo (timer)
- refletômetro
- gasômetro (só checagem, sem exigência crítica)

Obviamente, o usuário deve também certificar-se de que os instrumentos de laboratório empregados na determinação da concentração de um poluente, como, por exemplo, a balança analítica, estão devidamente calibrados. Recomendamos ao usuário consultar os manuais de garantia da qualidade pertinentes, para familiarizar-se com os requisitos de calibração para esses instrumentos.

Todos os dados de calibração, de todos os instrumentos envolvidos, devem ser anotados, registrados e guardados.

4.2 Calibração do Equipamento de Medição de Vazão - o Bolhômetro

O OPSOMS é um equipamento apropriado para amostragens de 24 horas - pode também ser utilizado para amostragens de curta duração - e utiliza um orifício crítico para controlar a vazão. Por exemplo, para a determinação do SO_2 pelo peróxido de hidrogênio, a vazão controlada pelo orifício deve situar-se em torno de 2,0 L/min (de 1,8 a 2,2 L/min).

Os dispositivos de medição de vazão mais conhecidos são os wet test meters, os medidores de bolha de sabão (bolhômetros), os medidores de vazão mássica e os rotâmetros. Todos requerem calibração. Neste manual, nos deteremos no bolhômetro, o tipo de medidor que a ENERGÉTICA utiliza para calibrar suas agulhas (orifícios críticos).

O bolhômetro consiste em um tubo transparente (normalmente cilíndrico, comprido), no interior do qual uma bolha de sabão, produzida pelo usuário, percorre, num tempo cronometrado, um volume delimitado por duas marcas. Para a calibração de agulhas com vazão de 2 L/min, emprega-se um bolhômetro com 500 mL. Os bolhômetros, por sua vez, são calibrados pelo método do deslocamento gravimétrico de volume e são fornecidos com certificados.

O “Método de Deslocamento Gravimetro de Volume”, para a calibração do bolhômetro, é apresentado no Apêndice C.

O volume de deslocamento de um bolhômetro não se altera com o uso. Portanto, requer-se apenas uma calibração inicial, no recebimento do instrumento.

O bolhômetro só pode ser usado dentro da faixa de volume para o qual foi calibrado.

4.3 Sistema de Controle de Vazão do Trem de Amostragem - o Orifício Crítico

Antes de utilizar seu OPSOMS numa campanha de amostragens, o usuário deve certificar-se de que tem disponível agulhas com vazão em torno de 2,0 L/min.

4.3.1 Obtenção dos Orifícios (Agulhas)

A ENERGÉTICA normalmente fornece o OPSOMS com o orifício calibrado para aproximadamente 2 L/min, valor este para condições padrão de temperatura e pressão.

O usuário deve munir-se de um bom estoque de orifícios críticos calibrados. A calibração destes orifícios pode ser realizada na ENERGÉTICA, mediante encomenda, ou pelo próprio usuário na sua instalação.

Como já foi afirmado, a calibração é simples e as agulhas hipodérmicas que se usa como orifício são facilmente encontradas no mercado. Há agulhas de vários tamanhos (diâmetro de capilar) e normalmente são identificadas para cada dimensão. Obviamente, o usuário, após adquirir certa experiência, acaba sabendo identificar o modelo da agulha para o tamanho desejado.

Alerta-se o usuário para o fato de que os diâmetros capilares de um certo modelo de agulha não são necessariamente repetitivos. É, portanto, necessário calibrar cada agulha individualmente, nunca em lotes.

Caso o usuário opte por adquirir as agulhas, previamente calibradas, da ENERGÉTICA, ele necessita apenas fazer a correção da vazão das condições de temperatura e pressão em que foram realizadas as calibrações para as condições de temperatura e pressão no local de amostragem. Caso estas condições estejam próximas às das calibrações, a correção torna-se prescindível.

Porém, caso queira calibrar seus próprios orifícios, o usuário deve seguir o procedimento apresentado no Apêndice D.

O orifício pode ser calibrado no próprio OPSOMS ou num sistema especial, porém simples, montado no laboratório. Ver detalhes deste esquema simples no Apêndice D.

A vazão do orifício crítico, determinada com o bolhômetro (Apêndice D), é denotada por Q_{oc} e é dada em L/min, normalmente para condições padrão (25 ° C e 760 mm Hg).

4.3.2 Utilização do Orifício (Agulha) no Campo

Conforme prática no Brasil, o volume de amostragem é medido multiplicando-se o tempo decorrido de amostragem pela vazão (obtida conforme descrito no apêndice D) do orifício crítico selecionado. Esta vazão do orifício é considerada constante até que se faça nova calibração do orifício, normalmente dez amostragens após a anterior.

O procedimento dos cálculos do volume de ar amostrado é apresentado na Subseção 6.1.

Como se sabe, a vazão só permanece constante na agulha quando as condições são críticas (ver Subseção 2.5). Estas condições existem quando a leitura no vacuômetro, $P_{g,}$, é $\geq$ $0{,}55(P_2 + 20{,}45)$ mm Hg, onde P_2 é a pressão atmosférica média durante a amostragem.

Visto que a pressão barométrica decresce com a altitude, as condições de vazão crítica permanecem válidas para leituras mais baixas do vacuômetro em altitudes mais altas. As leituras do vacuômetro para fluxo crítico em diferentes altitudes são mostradas na Tabela 2.1.

4.4 Horâmetro

O horâmetro deve ser calibrado a cada 6 meses contra um cronômetro de exatidão comprovada. O ganho ou perda não pode ser superior a 2 min num período de 24 horas. Caso isto ocorra, descarte-o ou mande-o para conserto.

4.5 Programador de Tempo (Timer)

O timer deve ser calibrado e ajustado usando-se um horâmetro já calibrado como referência. Ver procedimento no Apêndice E. Conforme a U.S. EPA, a freqüência de calibração deve ser trimestral. O teste deve ser de 24 horas. O máximo erro permitido é de 15 min em 24 horas. Os testes devem ser registrados.

4.6 Refletômetro

Os procedimentos de calibração do refletômetro são apresentados no Apêndice H.

4.7 Gasômetro

Conforme a Subseção 3.3.7, o gasômetro instalado no OPSOMS tem a finalidade de aumentar a confiabilidade das medidas do volume de ar que passa pelo aparelho durante o período de amostragem. Ele não deve ser utilizado para a medida direta de volume.

Além do mais, o gasômetro, visto ser colocado após a bomba e, por conseguinte, devido ao ar aquecido que passa por ele, tende a apresentar uma leitura de volume superior ao valor real. Este acréscimo de volume situa-se normalmente em torno de 10 % e cabe ao usuário determiná-lo no próprio OPSOMS.

A determinação do acréscimo de volume na leitura do gasômetro, devido ao ar aquecido, é feita dividindo-se o valor do volume totalizado pelo instrumento (leitura final menos leitura inicial) pelo volume (vazão vezes tempo de amostragem) de ar passado pelo orifício em uso no sistema. Determina-se, assim, um coeficiente igual a (100 + % de acréscimo) dividido por 100. Este coeficiente (por exemplo, 1,1, correspondente a 10 %) é posteriormente utilizado, dividindo-se, por ele, o volume determinado com o gasômetro, e comparando-se o resultado com o volume de ar que passou pela agulha.

TABELA 4.1

MATRIZ DE ATIVIDADES PARA A CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS

INSTRUMENTO	**LIMITES DE ACEITAÇÃO**	**FREQÜÊNCIA E MÉTODOS DE MEDIDA**	**AÇÃO, CASO EXIGÊNCIAS NÃO SEJAM SATISFEITAS**
Bolhômetro	Erro $\leq$ 1% (Fig. C.2)	Ensaie no recebimento, com deslocamento gravimétrico (ver Apêndice C).	Ensaie conforme Apêndice C ou peça ajuda ao fabricante.
Orifício crítico	Faixa de vazão designada pelo método de amostragem	Com um bolhômetro ensaiado, verifique a vazão à freqüência de 10 em 10 amostragens. Nota: esta freqüência é praticada por alguns órgãos de controle no Brasil. Nos EUA, a vazão controlada pelo orifício é checada a cada amostragem.	Descarte a agulha caso a vazão verificada esteja fora da faixa de vazão exigida pelo método de amostragem.
Horâmetro	$\pm$ 2 min / 24 h	Verifique a cada 6 meses, com um cronômetro de reconhecida exatidão.	Ajuste ou substitua.
Timer liga-desliga	$\pm$ 15 min / 24 h	Verifique trimestralmente, contra um horâmetro previamente aferido (ver Apêndice E).	Repita teste de verificação (Ap. E) ou substitua.
Refletômetro	100 $\pm$ 2 de refletância para o padrão branco e $\pm$ 1,5 de refletância para o padrão cinza.	Teste toda vez que for usá-lo.	Repita teste de verificação (Ap. H) ou substitua.

5.0 AMOSTRAGEM

5.1 Considerações Preliminares

Antes de colocar o OPSOMS para operar, o usuário deve familiarizar-se bem com o método ABNT para fumaça (NBR 10736) e o método ABNT para o SO_2 pelo método do peróxido de hidrogênio (NBR 12979), ambos listados na Seção 8.0.

O filtro e a solução para a amostragem são normalmente preparados no laboratório. Após preparados, são transportados para o local de amostragem.

São apresentadas, no Apêndice G, algumas exigências mínimas da U.S. EPA para a localização de amostradores designados para a determinação de SO_2. Para maiores detalhes sobre o local de instalação, particularmente no que diz respeito à determinação da fumaça, para a qual desconhecemos existir orientação a nível nacional, recomendamos consultar o órgão de proteção ambiental de seu estado.

O trem de amostragem do OPSOMS, próprio para as amostragens de 24 horas, tendo o orifício crítico como controlador de vazão, está representado na Figuras 2.1.

5.2 Preparação do Filtro e do Frasco-Borbulhador e Seleção do Orifício Crítico (no Laboratório)

5.2.1 Filtro Whatman n° 1

O filtro, antes de ser transportado para o local de amostragem, deve ser devidamente identificado (com uma numeração de série). O número de identificação deve ser escrito bem próximo à borda do filtro, longe da área onde haverá deposição de fuligem. O número de identificação deverá constar do formulário de campo (Figura 5.1). O filtro deverá ser transportado numa placa de Petri ou similar.

5.2.2 Limpeza do Frasco-Borbulhador

O conjunto frasco-borbulhador utilizado no OPSOMS está descrito na Subseção 3.3.3. Antes de utilizá-lo, o usuário deverá limpá-lo conforme instruído no método NBR 12979.

5.2.3 Colocação do Reagente

Veja, no método NBR 12979, o procedimento de preparação da solução e sua respectiva colocação no frasco-borbulhador.

5.2.4 Identificação do Frasco-Borbulhador e do Orifício Crítico

Deve-se, no frasco, colar uma etiqueta adesiva com os seguintes dados:

- Data da preparação
- Identificação do local da amostragem
- Data a ser usado

Anote as identificações do borbulhador e do orifício crítico no formulário de campo (Figura 5.1).

5.2.5 Seleção do Orifício Crítico

O usuário deve, para a amostragem, selecionar um orifício crítico com certificado de calibração válido. Veja exemplo de certificado no Apêndice D.

OPSOMS – AMOSTRAGEM

Formulário de Registro de Dados

Número:	
Data:	
Executante:	
Conferencista:	

DADOS GERAIS DA AMOSTRAGEM

N° do Amostrador: **Local:**

Nº da amostra: **N° do filtro:**

Poluente: **Método amostragem:**

Poluente: **Método amostragem:**

Dia inicial: **Dia final:**

Hora inicial: **Hora final:**

Vazão nominal: **L/min** **Duração:** **Horas (nominal)**

DADOS DO ORIFÍCIO CRÍTICO

Orifício crítico n°: **Vazão do orifício:** **L/min**

Data última calibração: **Bolhômetro n°:**

Temperatura (T_1): **°C**

Pressão barom. (P_1): **mmHg**

CONDIÇÕES DA AMOSTRAGEM

Temperatura amb. média (T_2): **°C**

Pressão barométrica média (P_2): **mmHg**

Leitura inicial horâmetro: **horas** **Leitura final horâmetro:** **horas**

VÁCUO (INDICAÇÃO DO VACUÔMETRO)

Vácuo inicial: **mmHg** **Vácuo final:** **mmHg**

GASÔMETRO

Leitura inicial: **L** **Leitura final:** **L**

DADOS DO LABORATÓRIO – FUMAÇA - NBR 10736

Área da mancha no filtro (A): cm^2

Concentração superficial da "fumaça normalizada internacional" (s): $\mu g/cm^2$

DADOS DO LABORATÓRIO – SO2 - NBR 12979

Volume de solução de tetraborato de sódio 0,004 na titulação ($V_{solução}$): m^3

OBSERVAÇÕES

Ass. Executante **Ass. Conferencista**

Figura 5.1 Formulário de Registro de Dados – Amostragem com o OPSOMS

A vazão do orifício crítico, Q_{oc} , conforme apresentada no certificado de calibração, é normalmente dada em L padrão (25 °C e 760 mm Hg) por minuto.

Nota: Não esqueça de que a vazão do orifício, Q_{oc} , deve estar dentro de 10 % da vazão nominal especificada pelo método. Por exemplo, para a determinação da concentração de SO_2 pelo método do peróxido de hidrogênio, Q_{oc} deve estar na faixa de 1,8 a 2,2 L/min.

O orifício crítico é instalado no campo. Os detalhes de instalação são apresentados na Subseção 3.3.3.

5.2.6 Embalagem e Envio do Frasco-borbulhador para o Campo

O frasco-borbulhador pode ser transportado numa caixa apropriada.

5.3 Material para o Campo

O usuário não deve esquecer de levar para o campo:

- O filtro Whatman nº 1, devidamente identificado.
- O frasco com a solução.
- O orifício crítico selecionado.
- Um bolhômetro e respectivos acessórios (caso tenha que medir a vazão no campo).
- As chaves para abrir a tampa e a porta do OPSOMS.
- Formulários de amostragem (Figura 5.1), inclusive uma prancheta para apoiar as folhas e caneta.
- Uma chave de fenda e um alicate de bico, para conectar e desconectar as mangueiras de conexão.
- Pelo menos um fusível de 10 A (para 110 V) ou de 5 A (para 220 V).
- Um termômetro, caso tenha que medir a temperatura ambiente.
- Um barômetro, caso tenha que medir a pressão barométrica.
- Um frasco com graxa de silicone.
- Um vidro de álcool.
- Panos, estopa e papel, para limpeza.

5.4 Colocação do Filtro, do Frasco-Borbulhador e do Orifício Crítico (no campo)

5.4.1 Do Filtro

1. No local do OPSOMS, abra a tampa e mantenha-a aberta com a escora de alumínio à esquerda (do operador).

2. Abra o porta-filtro de inox, retire o filtro Whatman n° 1 da placa de Petri e aloje-o na metade inferior do porta-filtro, de modo que o ar penetre por sua face mais lisa (se for o caso). Ver detalhes do porta-filtro na Figura 3.3.

3. Recoloque a metade superior do porta-filtro e aperte ambas as metades mediante o sistema de aperto. Aperte bem.

4. Posicione o porta-filtro de tal maneira que o papel de filtro fique na horizontal.

5.4.2 Do Frasco-Borbulhador

1. Antes de remover o frasco com coleta, consulte o órgão de controle se poderá simplesmente utilizar, na próxima coleta, o borbulhador propriamente dito (o tubo interno) que estava na coleta anterior, sem cuidados de possível contaminação. Caso isso não seja permitido, a troca se fará de todo o frasco-borbulhador (completo), o que implica já trazer o novo frasco com o borbulhador instalado.

Caso seja permitido utilizar o borbulhador da coleta anterior na próxima, basta remover o borbulhador do respectivo frasco externo. Para isso, tem-se que girar o borbulhador de um lado para outro, a fim de se desprender da graxa de silicone previamente colocada para vedação. O borbulhador, após removido, fica ainda preso às duas mangueiras (de entrada e de saída). Cuidado ao pousá-lo, pois poderá quebrá-lo.

2. Instale o frasco com a solução para a próxima coleta no seu alojamento (sapata de plástico) na bandeja superior do amostrador. Aqui inverte-se o processo do Passo 1 acima. Caso o borbulhador já venha instalado do laboratório, coloque, cuidadosa e firmemente, as mangueiras de entrada e saída nas respectivas extremidades. Por outro lado, caso seja permitido instalar o mesmo borbulhador da coleta anterior, recomenda-se, primeiramente, colocar uma fina camada de graxa de silicone de alto vácuo nas seções cônicas de contacto de ambos os frascos externo e borbulhador. Feito isto, monte novamente o borbulhador, girando o frasco de um lado para o outro, até perceber que a camada de silicone se espalhou uniformemente nas seções cônicas. Isto é necessário para que se consiga uma boa vedação.

3. Assegure-se de que a mangueira de entrada no borbulhador é a que vem do porta-filtro de inox. Certifique-se de que fica bem apertada. Da mesma forma, verifique se a mangueira de saída do borbulhador é a que vai para a entrada do filtro automotivo.

5.4.3 Dos Orifício Crítico e Filtros de Proteção

1. Caso tenha que substituir a agulha, retire-a, juntamente com seu suporte de inox, de dentro do bico de inox, e insira a nova. A agulha nova é primeiramente alojada, pelo sua base, na extremidade macho do pequeno suporte de inox, o qual, em conjunto com a agulha, é alojado dentro do bico de inox. Cuidado para não entortar a agulha. As agulhas entortadas acidentalmente devem ser destruídas e jogadas fora.

   Atenção: Não esqueça de verificar se o orifício tem a vazão adequada para o método de análise do gás que vai medir.

2. Reponha a mangueira que conecta o filtro-membrana com o suporte de inox da agulha. Certifique-se de que está bem apertada.

3. Cheque se os filtros de proteção do orifício estão em condições de uso e se não ultrapassaram 3 meses de uso ou 15 amostragens, o que ocorrer primeiro. Caso tenham ultrapassado, troque-os.

5.4.4 Checagem Geral

Cheque se todas as partes integrantes do conjunto, ou sejam, porta-filtro de inox, frasco-borbulhador, filtros de proteção, orifício crítico e as várias mangueiras de conexão, estão devidamente conectadas, a fim de não permitir entrada falsa de ar.

5.5 Preparação do Restante do OPSOMS (no Campo)

5.5.1 Energização do Aparelho

Com o filtro e o frasco-borbulhador já instalados no OPSOMS, o operador deve checar e preparar o aparelho para partida. Recomenda-se adotar o seguinte procedimento:

1. Verifique se o aparelho está ligado na voltagem correta (110 ou 220 V).

2 Ligue a chave liga-desliga e veja se o sinaleiro acende. Se o sinaleiro não acender, verifique se o fusível está queimado. Para isso, basta abrir o porta-fusível logo abaixo. Caso o fusível esteja queimado, substitua-o por outro (de 10 A, para 110 V, e de 5 A, para 220 V).

Caso o sinaleiro não acender e o fusível estiver bom, o problema então é com o sinaleiro, devendo-se então substituí-lo na próxima oportunidade. De qualquer maneira, o sinaleiro é apenas um indicador, não devendo impedir que o aparelho funcione.

5.5.2 Bomba

1. Ligue a bomba por um momento e veja se seu ventilador está funcionando. Faz-se isto colocando-se a mão no cabeçote da bomba e sentindo se há ou não corrente incidente de ar. Em seguida, desligue a bomba.

2. Com a bomba desligada, desconecte a mangueira da bomba, por cima da bandeja superior, e bloqueie-a (completamente) com o dedo polegar. Ligue novamente a bomba e veja a leitura do vacuômetro. Esta deve estar próxima de 647 mm Hg (vácuo máximo da bomba).

3. Se o vacuômetro estiver indicando abaixo de 647 mm Hg, certifique-se de que a extremidade da mangueira está bem bloqueada e de que a mangueira está bem conectada na entrada da bomba. Se a leitura do vacuômetro permanecer abaixo do valor, veja o que há de errado com a bomba. Cheque também o vacuômetro.

4. Desligue a bomba e conecte a mangueira da bomba de volta.

5.5.3 Teste de Estanqueidade (Vazamento)

1. Com a bomba ligada, verifique se há borbulhamento no frasco. Caso não haja, cheque as conexões.

2. Em seguida, faça uma checagem geral para ver se não há entrada falsa de ar no sistema, principalmente entre a entrada do frasco-borbulhador e o orifício crítico. Veja a Subseção 3.3.4 com procedimentos para localização de entradas falsas de ar.

5.5.4 Checagem das Condições Críticas

1. Com a bomba ligada, leia no vacuômetro e anote o vácuo P_g. Compare esta leitura do vacuômetro com o valor calculado por 0,55 (P_2 + 20,45) mm Hg, onde P_2 é a pressão atmosférica no local.

   Caso o P_g de leitura não seja maior do que o calculado acima, é porque um dos três problemas está acontecendo: entrada falsa de ar entre o orifício e a bomba; a vazão do orifício é maior do que o permitido; a bomba está com defeito.

2. Anote a leitura (inicial) do gasômetro, P_g, no formulário de amostragem (Figura 5.1).

5.5.5 Gasômetro

1. Cheque o gasômetro (detalhes na Subseção 3.3.7). Com a bomba funcionando, confirme se o gasômetro está operativo, verificando se há movimentação dos dígitos no seu dial. De vez em quando, o usuário deve fazer um teste mais completo, comparando a vazão de ar que passa por ele com a vazão do orifício. Faz-se isso deixando que o gasômetro funcione por uns 10 minutos (cronometrados) e depois dividindo-se a quantidade de ar que passou, em litros, pelo tempo cronometrado, em minutos. A diferença deve ficar em torno de 10 %.

2. Anote a leitura inicial do gasômetro no formulário de amostragem (Figura 5.1).

5.5.6 Horâmetro - Período de Amostragem

Veja detalhes sobre o horâmetro na Subseção 3.3.6 e no Apêndice B.

1. Com o OPSOMS ligado, verifique se o horâmetro está funcionando. Faz-se isto observando se há movimento nas ranhuras do disco ao lado direito do dial. Caso não haja movimento, troque o horâmetro.

2. Anote a leitura inicial do horâmetro no formulário de amostragem.

Nota: A amostragem só é válida para tempo de amostragem maior que 23 h e menor que 25 h. Caso contrário, a amostra é anulada.

5.5.8 Timer - Programação de Tempo

Veja detalhes sobre o timer na Subseção 3.3.6 e no Apêndice A.

1. Decida, com o órgão de controle, como programar o tempo de amostragem. Por exemplo, é de ½ a ½ noite?

2. Verifique se o clock do timer está acertado e aí faça a sua programação.

3. Feita a programação do OPSOMS, feche a tampa e a porta do aparelho.

4. Anote o início de amostragem programado no formulário de amostragem.

5.6 Temperatura e Pressão Ambientes

1. Obtenha, de alguma maneira, os valores médios da pressão barométrica e temperatura ambiente durante a amostragem e anote-os no formulário de amostragem.

Nota: O ideal seria que o usuário contasse com uma estação meteorológica próxima, da qual ele pudesse retirar os valores. Não contando com uma estação, e não havendo uma estação oficial próxima, as estimativas tornam-se difíceis..

5.7 Dados Iniciais a Serem Anotados no Formulário

Pelo menos os seguintes dados e informações devem constar do formulário após a preparação do OPSOMS para a amostragem:

- Identificação do amostrador
- Local de amostragem
- Poluentes a serem amostrados e respectivos métodos de amostragem
- Duração nominal ditada pelo método
- Vazão nominal do método (L/min)
- Número do filtro (fumaça)
- Número da amostra do frasco-borbulhador (SO_2)
- Dia inicial da amostragem
- Hora inicial da amostragem
- Número de identificação do orifício crítico
- Vazão do orifício crítico (tirado do certificado)
- Data da última calibração do orifício crítico
- Identificação do bolhômetro
- Temperatura (T_1) à qual foi realizada a calibração do orifício crítico
- Pressão barométrica (P_1) à qual foi realizada a calibração do orifício crítico
- Leitura inicial do horâmetro
- Leitura inicial do vacuômetro (com o trem em funcionamento)
- Leitura inicial do gasômetro
- Condições incomuns nas cercanias do amostrador
- Assinaturas do executante e do conferencista

5.8 Retirada do Filtro e do Frasco-Borbulhador para Análise

5.8.1 Material para o Campo

Antes de partir para o campo, a fim de recolher o filtro e o frasco-borbulhador com a amostra, o usuário não deve esquecer de juntar:

- As chaves para abrir a tampa e a porta do OPSOMS.
- Formulários de amostragem (com dados iniciais), inclusive uma prancheta.
- Uma chave de fenda e um alicate de bico, em caso de ter que desconectar e conectar mangueiras de conexão.
- Pelo menos um fusível de 10 A (ou de 5 A).
- Um termômetro, caso tenha que medir a temperatura ambiente.
- Um barômetro, caso tenha que medir a pressão barométrica.
- A caixa de transporte do frasco-borbulhador
- Um frasco com graxa de silicone.
- Um vidro de álcool.
- Panos, estopa e papel, para limpeza.
- Um bolhômetro e respectivos acessórios (caso tenha que medir a vazão).
- Fita adesiva e lápis ou marcador.

5.8.2 Checagens Pós-Operacionais

No campo, inicialmente, abra o OPSOMS e faça as seguintes verificações pós-operacionais:

1. Ligue a bomba por um momento e veja se seu ventilador está funcionando. Faz-se isto colocando-se a mão no cabeçote da bomba e sentindo se há ou não corrente incidente de ar. Em seguida, desligue a bomba.

2. Com a bomba desligada, desconecte a mangueira da bomba, por cima da bandeja superior, e bloqueie-a (completamente) com o dedo polegar. Ligue novamente a bomba e veja a leitura do vacuômetro. Esta deve estar próxima de 647 mm Hg (vácuo máximo da bomba utilizada no OPSOMS).

3. Se o vacuômetro estiver indicando abaixo de 647 mm Hg, certifique-se de que a extremidade da mangueira está bem bloqueada e de que a mangueira está bem conectada à entrada da bomba. Se a leitura do vacuômetro permanecer abaixo do valor, veja o que há de errado com a bomba. Cheque também o vacuômetro.

4. Desligue a bomba e conecte a mangueira da bomba de volta.

5. Faça uma checagem geral para ver se não há entrada falsa de ar no sistema, principalmente entre a entrada do frasco-borbulhador e o orifício crítico. Veja, na Subseção 3.3.4, os procedimentos para a localização de entradas falsas de ar.

6. Com a bomba ligada, leia no vacuômetro e anote o vácuo P_g. Compare esta leitura do vacuômetro com o valor calculado por 0,55 (P_2 + 20,45) mm Hg, onde P_2 é a pressão atmosférica no local.

   Caso o P_g de leitura não seja maior do que o calculado acima, é porque um dos três problemas seguintes está acontecendo: entrada falsa de ar entre o orifício e a bomba; a vazão do orifício é maior do que o permitido; a bomba está com defeito.

7. Anote a leitura (final) do vacuômetro, P_g , no formulário de amostragem (Figura 5.1).

8. Cheque o gasômetro (veja detalhes na Subseção 3.3.7). Com a bomba funcionando, confirme se ele está operativo, verificando se há movimentação dos dígitos no seu dial. Anote a leitura final do gasômetro no formulário de amostragem.

9. Verifique a condição do filtro-membrana e substitua-o caso esteja descolorido ou rachado. A porosidade do filtro-membrana fornecido pela ENERGÉTICA é de 0,8 μm. Em todo caso, substitua o filtro-membrana a cada 15 amostragens ou a cada 3 meses, o que ocorrer primeiro. Faça a mesma coisa com o filtro automotivo.

10. Anote a temperatura ambiente no término da amostragem (caso possível) ou estime a temperatura média durante a amostragem (T_2).

11. Anote a pressão barométrica no término da amostragem (caso possível) ou estime a pressão atmosférica média durante a amostragem (P_2).

14. Cheque o horâmetro. Anote a leitura final no formulário de amostragem (Figura 5.1).

15. Cheque o timer. Verifique, com o controle manual, se está ligando e desligando. Cheque o clock do timer.

5.8.3 Manuseio do Filtro

1. Desligue a chave liga-desliga principal do OPSOMS.

2. Abra o porta-filtro de inox e retire o filtro imediatamente e de modo a não tocar na área exposta.

3. Ponha o filtro no recipiente de transporte (preferencialmente uma placa de Petri), de modo que a face com o material particulado fique voltada para cima. Leve-o para o laboratório.

5.8.4 Manuseio do Frasco-Borbulhador

1. Retire o frasco-borbulhador de dentro do OPSOMS, desconectando-o de suas mangueiras.

2. Estime o volume de reagente remanescente no frasco. Marque, com uma fita adesiva ou com um lápis, o nível no frasco-borbulhador e anote este no formulário.

3. Caso haja evidência de mal-funcionamento (por exemplo, reagente sugado do frasco-borbulhador para o sistema de vácuo), anote este fato no formulário. Nestas circunstâncias, a amostra é normalmente invalidada.

4. Transporte o frasco-borbulhador em caixa apropriada. Qualquer que seja o tipo de transporte, o frasco com a amostra terá que ser bem vedado.

5. Uma decisão, antes do transporte do frasco com a amostra para o laboratório, é a de se transportar a amostra no frasco com o borbulhador propriamente dito inserido ou não. Caso tenha que retirar o borbulhador do conjunto, tem-se que segurar o frasco com uma mão e o borbulhador propriamente dito com a outra e girá-los lentamente de modo que se separem pelas conexões cônicas.

6. Anote, no formulário de amostragem, quaisquer informações pertinentes, relativas a fontes, condições meteorológicas etc., que possam afetar as concentrações dos poluentes.

9. Desligue a chave geral do OPSOMS.

10. Feche a tampa e a porta do OPSOMS.

5.8.5 Dados Finais a Serem Anotados no Formulário de Amostragem

Antes de retornar com as amostras para o laboratório, o usuário deve certificar-se de que os seguintes dados e informações complementares foram registrados no formulário de amostragem (Figura 5.1):

- Dia do término da amostragem
- Hora do término da amostragem
- Estimativa da temperatura média durante a amostragem (caso já a possua)
- Estimativa da pressão atmosférica média durante a amostragem (caso já a possua)
- Leitura final do horâmetro
- Leitura final no vacuômetro, com o trem em funcionamento
- Leitura final do gasômetro
- Condições incomuns nas cercanias do amostrador
- Assinaturas do executante e do conferencista

O formulário de amostragem, completo, é levado para o escritório ou laboratório, para que seja calculado o volume de amostragem e anotada as concentrações de fumaça e de SO_2 (ver cálculos na Seção 6.0).

A Figura 5.2 mostra o formulário de registro de dados da Figura 5.1 preenchido com dados do campo.

OPSOMS – AMOSTRAGEM

Formulário de Registro de Dados

Número:	***10/001***
Data:	***06/07/10***
Executante:	***João***
Conferencista:	***Maria***

DADOS GERAIS DA AMOSTRAGEM

N° do Amostrador:	***OPS-0054***	**Local:**	***Cantagalo***
Nº da amostra:	***530***	**N° do filtro:**	***102***
Poluente:	***Fumaça***	**Método amostragem:**	***NBR 10736***
Poluente:	***SO_2***	**Método amostragem:**	***NBR 10979***
Dia inicial:	***05/07/10***	**Dia final:**	***06/07/10***
Hora inicial:	***½ noite***	**Hora final:**	***½ noite***
Vazão nominal:	***2*** **L/min**	**Duração:**	***24*** **Horas (nominal)**

DADOS DO ORIFÍCIO CRÍTICO

Orifício crítico n°:	***OC.101***	**Vazão do orifício:**	***2,040*** **L/min**
Data última calibração:	***25/06/10***	**Bolhômetro n°:**	***BOL-500-101***
Temperatura (T_1):	***27*** **°C**		
Pressão barom. (P_1):	***759*** **mmHg**		

CONDIÇÕES DA AMOSTRAGEM

Temperatura amb. média (T_2):		**°C**		
Pressão barométrica média (P_2):		**mmHg**		
Leitura inicial horâmetro:	***15,67***	**horas**	**Leitura final horâmetro:**	***39,62*** **horas**

VÁCUO (INDICAÇÃO DO VACUÔMETRO)

Vácuo inicial:	***584***	**mmHg**	**Vácuo final:**	***584*** **mmHg**

GASÔMETRO

Leitura inicial:	***4.263,0***	**L**	**Leitura final:**	***7.351,2*** **L**

DADOS DO LABORATÓRIO – FUMAÇA - NBR 10736

Área da mancha no filtro (A):		cm^2
Concentração superficial da "fumaça normalizada internacional" (s):		$\mu g/cm^2$

DADOS DO LABORATÓRIO – SO2 - NBR 12979

Volume de solução de tetraborato de sódio 0,004 na titulação ($V_{solução}$):		m^3

OBSERVAÇÕES

Ass. Executante **Ass. Conferencista**

Figura 5.2 - Formulário de Registro de Dados – Amostragem com o OPSOMS (com exemplo – dados do campo)

6.0 ANÁLISES E RESULTADOS

6.1 Análises

No laboratório, as amostras são analisadas com o fim de se determinar as massas dos poluentes coletados. O procedimento de análise de cada poluente é apresentado nos respectivos métodos (NBR 10736 e NBR 12979).

6.1.1 Fumaça (Método NBR 10736, Ref. 2 da Seção 8.0).

De posse do filtro após a amostragem, o usuário está pronto para a análise, devendo proceder conforme abaixo:

- Ligar o refletômetro e deixá-lo aquecer, no mínimo pelo tempo recomendado pelo fabricante.
- Colocar, sobre uma superfície branca, um papel de filtro não exposto, com a face mais lisa voltada para cima.
- Colocar o detector do refletômetro cuidadosamente sobre o papel de filtro e ajustar o controle de sensibilidade para 100 % da escala.
- Retirar o detector.
- Substituir o papel de filtro branco pelo filtro exposto, com a mancha de material particulado voltada para cima.
- Colocar o detector cuidadosamente sobre a mancha, certificando-se de que a luz incide somente sobre ela.
- Anotar o valor ***R*** da refletância.
- Calcular o índice de obscurecimento pela fórmula

$$I = 100 - R \qquad \text{(Eq. 6.2)}$$

onde I = índice de obscurecimento
R = valor lido da refletância, em %.

- A partir do índice de obscurecimento (***I***) calculado, obter, na curva de calibração, o valor da concentração superficial de "fumaça normalizada internacional" (***s***), em μg por cm^2 de superfície exposta do filtro. Chama-se a atenção do usuário para usar apenas a curva de calibração válida para o refletômetro e filtro empregados.
- Determinar a área (***A***) da mancha no filtro, em cm^2. Se necessário, utilizar uma régua de precisão para medir o diâmetro.
- Anotar os valores de ***s*** e de ***A*** no formulário de registro de dados (Figura 5.2).

6.1.2 SO_2 (Método NBR 12979, Ref. 4 da Seção 8.0)

No laboratório, a amostra é analisada com o fim de se determinar a massa do SO_2 absorvido no frasco. O procedimento de análise é apresentado no método NBR 12979 da ABNT (Ref. 4 da Seção 8.0).

Anotar o valor do volume da solução de titulação ($\mathbf{V_{solução}}$) no formulário de registro de dados (Figura 5.2).

6.2 Pressão e Temperatura Ambientes

Com os dados do laboratório, falta apenas ao usuário certificar-se de que tem os valores médios para pressão ($\boldsymbol{P_2}$) e temperatura ($\boldsymbol{T_2}$) durante e amostragem. Anotar estes dados no formulário de registro de dados (Figura 5.2).

6.3 Cálculos das Concentrações

6.3.1 Dados Necessários para os Cálculos

Com os dados de pressão e temperatura, mais os dados do laboratório e os registrados no campo, o usuário terá todos os dados necessários para os cálculos. São eles:

- Sequencial do documento
- Data do documento
- Nomes do executante e do conferencista
- Identificação do amostrador
- Local da amostragem
- Número de identificação da amostra (SO_2) – no frasco-borbulhador
- Número do filtro (Fumaça)
- Nomes dos poluentes amostrados
- Métodos de amostragem dos poluentes
- Dia inicial e dia final da amostragem
- Hora inicial e hora final da amostragem
- Vazão nominal do método
- Duração nominal do método
- Identificação do orifício crítico (OC)
- Vazão do orifício crítico (tirada do certificado)
- Data da última calibração do OC
- Identificação do bolhômetro usado para a calibração do OC
- Temperatura T_1 durante a calibração do orifício crítico, graus K (K = 273 + °C)
- Pressão P_1 durante a calibração do orifício crítico, mm Hg
- Temperatura média T_2 durante a amostragem, graus K (K = 273 + °C)
- Pressão barométrica média P_2 durante a amostragem, mm Hg
- Leituras inicial e final do horâmetro
- Leituras inicial e final do vacuômetro
- Leituras inicial e final do gasômetro
- Área da mancha do filtro (A)
- Concentração superficial da “fumaça normalizada internacional” (s)
- Volume da solução de tetraborato de sódio 0,004 utilizado na titulação ($V_{solução}$)
- Assinaturas do executante e do conferencista

Ver Figura 6.1 com todos os dados anotados, necessários para os cálculos.

Na Figura 6.2 vê-se a planilha fornecida para os cálculos da determinação da concentração de fumaça pelo método da refletância da luz. E na Figura 6.2 tem-se a planilha para SO_2 pelo método do peróxido de hidrogênio. Os dados inseridos nas planilhas vieram do formulário de registro de dados (Figura 6.1).

OPSOMS – AMOSTRAGEM

Formulário de Registro de Dados

Número:	***10/001***
Data:	***06/07/10***
Executante:	***João***
Conferencista:	***Maria***

DADOS GERAIS DA AMOSTRAGEM

N° do Amostrador:	***OPS-0054***	**Local:**	***Cantagalo***
Nº da amostra:	***530***	**N° do filtro:**	***102***
Poluente:	***Fumaça***	**Método amostragem:**	***NBR 10736***
Poluente:	***SO_2***	**Método amostragem:**	***NBR 10979***
Dia inicial:	***05/07/10***	**Dia final:**	***06/07/10***
Hora inicial:	***½ noite***	**Hora final:**	***½ noite***
Vazão nominal:	***2*** **L/min**	**Duração:**	***24*** **Horas (nominal)**

DADOS DO ORIFÍCIO CRÍTICO

Orifício crítico n°:	***OC.101***	**Vazão do orifício:**	***2,040*** **L/min**
Data última calibração:	***25/06/10***	**Bolhômetro n°:**	***BOL-500-101***
Temperatura (T_1):	***27*** **°C**		
Pressão barom. (P_1):	***759*** **mmHg**		

CONDIÇÕES DA AMOSTRAGEM

Temperatura amb. média (T_2):		**°C**		
Pressão barométrica média (P_2):		**mmHg**		
Leitura inicial horâmetro:	***15,67***	**horas**	**Leitura final horâmetro:**	***39,62*** **horas**

VÁCUO (INDICAÇÃO DO VACUÔMETRO)

Vácuo inicial:	***584***	**mmHg**	**Vácuo final:**	***584*** **mmHg**

GASÔMETRO

Leitura inicial:	***4.263,0***	**L**	**Leitura final:**	***7.351,2*** **L**

DADOS DO LABORATÓRIO – FUMAÇA - NBR 10736

Área da mancha no filtro (A):	***40***	cm^2
Concentração superficial da "fumaça normalizada internacional" (s):	***10,1***	$\mu g/cm^2$

DADOS DO LABORATÓRIO – SO2 - NBR 12979

Volume de solução de tetraborato de sódio 0,004 na titulação ($V_{solução}$):	***0,1***	m^3

OBSERVAÇÕES

Ass. Executante **Ass. Conferencista**

Figura 6.1 - Formulário de Registro de Dados – Amostragem com o OPSOMS (com exemplo – com todos os dados)

Planilha de Amostragem - OPSOMS - FUMAÇA

DADOS DA AMOSTRAGEM						
N° da Amostragem:	10/001		N° filtro:	102		
N° do Amostrador:	OPS-0054		Período:	05/07/10	a	1/2 noite
Local:	Cantagalo		Hora:	1/2 noite	a	1/2 noite
Poluente:	SO_2		Duração:	24	horas (nominal)	
Vazão nominal:	2	L/min	Método:	Peróxido de hidrogênio (NBR12979)		

DADOS DO ORIFÍCIO CRÍTICO					
Orifício Crítico N°:	OC.1001	Vazão do orifício:	2,040	L/min	
Data da última calibração:	25/06/10	Bolhômetro N°:	BOL-500-101		
Temperatura (T_1):	27	°C	300	K	
Pressão barométrica (P_1):	759	mmHg			

CONDIÇÕES DA AMOSTRAGEM						
Temperatura ambiente média (T_2):	25	°C	298	K	T_p= 298 K	
Pressão barométrica média (P_2):	749	mm Hg			P_p= 760 mmHg	
Leitura inicial horâmetro:	15,67	horas	Leitura final horâmetro:		39,62	horas
Diferença de leituras do horâmetro:	23,95	horas	Duração amostragm. (t_a):		1.437,0	minutos

VÁCUO				
Vácuo mínimo [0,55 (P_2+20,45) mmHg] - Eq. .10]:	423,2	mmHg		
Vácuo inicial:	584	mmHg	Vácuo final:	584,0 mmHg

VOLUME DA AMOSTRAGEM

$$V_{ar} = (Q_{oc})(t_a)\sqrt{\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$$ Eq. 6.1

Volume de amostragem (V_{ar}): 2.941,1 L padrão

GASÔMETRO						
Leit. inicial:	4.263,0	L	Leitura final:	7.594,6	L	Total: 3.331,6 L

CONCENTRAÇÃO (µg/m³) NAS CONDIÇÕES PADRÃO (25 °C e 760 mmHg)

$$C_{FUMAÇA} = \frac{s \times A}{V_{ar}}$$ Ver NBR 19736/1989

Concentração superficial de "fumaça normalizada internacional"→	s =	40	µg/cm²
Área da mancha→	A =	10,1	cm²
Volume de ar amostrador→	V_{ar} =	2,941	m³

Concentração (C): 137,36 µg/m³

OBSERVAÇÕES (anormalidades durante a amostragem)

Responsável: _____ Data: _____

Figura 6.2 – Planilha de Cálculo – Amostragem com o OPSOMS (com exemplo de amostragem de fumaça pela refletância da luz)

Planilha de Amostragem - OPSOMS - SO_2

DADOS DA AMOSTRAGEM						
N° da Amostragem:	10/001		N° amostra:	530		
N° do Amostrador:	OPS-0054		Período:	05/07/10	a	1/2 noite
Local:	Cantagalo		Hora:	1/2 noite	a	1/2 noite
Poluente:	SO_2		Duração:	24	horas (nominal)	
Vazão nominal:	2	L/min	Método:	Peróxido de hidrogênio (NBR12979)		

DADOS DO ORIFÍCIO CRÍTICO					
Orifício Crítico N°:	OC.1001	Vazão do orifício:	2,040	L/min	
Data da última calibração:	25/06/10	Bolhômetro N°:	BOL-500-101		
Temperatura (T_1):	27	°C	300	K	
Pressão barométrica (P_1):	759	mmHg			

CONDIÇÕES DA AMOSTRAGEM						
Temperatura ambiente média (T_2):	25	°C	298	K	T_p= 298 K	
Pressão barométrica média (P_2):	749	mm Hg			P_p= 760 mmHg	
Leitura inicial horâmetro:	15,67	horas	Leitura final horâmetro:		39,62	horas
Diferença de leituras do horâmetro:	23,95	horas	Duração amostragm. (t_a):		1.437,0	minutos

VÁCUO

Vácuo mínimo [0,55 (P_2+20,45) mmHg] - Eq. .10]: 423,2 mmHg

Vácuo inicial: 584 mmHg Vácuo final: 584,0 mmHg

VOLUME DA AMOSTRAGEM

$$V_{ar} = (Q_{oc})(t_a)\sqrt{\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$$

Eq. 6.1

Volume de amostragem (V_{ar}): 2.941,1 L padrão

GASÔMETRO						
Leit. inicial:	4.263,0	L	Leitura final:	7.594,6	L	Total: 3.331,6 L

CONCENTRAÇÃO (µg/m³) NAS CONDIÇÕES PADRÃO (25 °C e 760 mmHg)

$$C_{SO_2} = \frac{128 \times Vsolução}{V_{ar}}$$

Ver NBR 12979/1993

Volume de solução de tetraborato de sódio 0,004 N gasto na titulação →	$V_{solução}$ =	0,1	m^3
Volume de ar amostrador→	V_{ar} =	2,9	m^3

Concentração (C): 4,35 µg/m³

OBSERVAÇÕES (anormalidades durante a amostragem)

Responsável: _____ Data: _____

Figura 6.3 – Planilha de Cálculo – Amostragem com o OPSOMS (com exemplo de amostragem do SO_2 pelo peróxido de hidrogênio)

6.3.2 Volume do Ar Amostrado

O volume de ar amostrado, V_{ar}, é determinado pela Equação 6.1.

$$V_{ar} = (Q_{oc})(t_a)\sqrt{\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \qquad \text{Equação 6.1}$$

onde: V_{ar} = volume de ar amostrador, em condições padrão, L padrão
Q_{oc} = vazão limitada pelo orifício crítico, em condições padrão, L/min padrão
t_a = tempo decorrido de amostragem, min
P_1 = pressão atmosférica durante a calibração do orifício, mm Hg
T_1 = temperatura ambiente durante a calibração do orifício crítico, K (273 + °C)
T_2 = temperatura média durante a amostragem, K (273 + °C)
P_2 = pressão atmosférica média durante a amostragem, mm Hg

Observe que Q_{oc}, como apresentado no certificado do orifício, já vem corrigido para condições padrão (298 K e 760 mm Hg).

O mesmo valor de V_{ar} é utilizado nos cálculos das concentrações da fumaça e do SO_2, visto que tanto o filtro para fumaça e o frasco para SO_2 estão em série no esquema de amostragem (ver Figura 2.1).

Validação dos Cálculos do Volume

O usuário deve, para se certificar de que seus dados são válidos, verificar no mínimo as condições abaixo:

1. Cheque as leituras do vacuômetro, P_g , e compare-as com os valores calculados pela expressão 0,55 (P_2 + 20,45) mm Hg, onde P_2 é a pressão atmosférica para o local. P_g deve ser maior.

2. Veja, no formulário de amostragem, as leituras inicial e final do gasômetro e calcule o volume de ar passado pelo instrumento. O resultado deve ser reduzido em cerca de 10 %, para compensar o aquecimento do ar ao ser deslocado pela bomba. Procure, à medida que for ganhando experiência de amostragem com o OPSOMS, estimar o valor que melhor reflita a redução.

   Em seguida, compare o volume (V_{ar}) com o volume de ar passado pelo gasômetro (já reduzido conforme o parágrafo acima). Devem estar próximos um do outro. Caso haja discrepância notável, verifique se está com o orifício correto, se não houve troca de certificado de calibração do orifício ou se não há entrada falsa de ar no sistema. Caso estas primeiras verificações não indiquem erros, é provável que tenha, durante a amostragem, havido perda de condições críticas no orifício em decorrência de interrupções ou reduções na voltagem de linha.

3. Cheque o tempo decorrido de amostragem, t_a , e veja se satisfaz a condição 23 h $\leq t_a \leq$ 25 h.

Nota: A relação de condições de validação dos dados acima é, como foi dita, mínima. Para uma relação mais abrangente, recomendamos a leitura da Ref. 1 da Seção 8.0.

6.3.3 Concentração de Fumaça (Método NBR 10736, Ref. 2 da Seção 8.0).

A concentração da "fumaça normalizada internacional" é calculada pela fórmula:

$$C_{FUMAÇA} = \frac{sA}{V_{ar}} 10^3 \qquad \text{(Equação 6.2)}$$

onde:

***C*FUMAÇA** = concentração de "fumaça normalizada internacional", em μg/m³
s = concentração superficial de "fumaça normalizada internacional", em μg/cm²,
A = área da mancha, em cm²,
***V*ar** = volume de ar corrigido para 25 °C e 760 mm Hg, em ℓ

A determinação de ***s***, utilizando um refletômetro, é apresentada na Subseção 6.2.1

No amostrador, a mancha de fuligem formada no filtro é circular com um diâmetro (normal) de 36 mm. O usuário deve verificar o diâmetro com uma régua de precisão.

O valor de V_{ar} é dado pela Equação 6.1.

O valor de $C_{FUMAÇA}$, é calculado pela planilha da Figura 6.2).

Para mais detalhes sobre a expressão e as variáveis acima, ver o método NBR 10736.

6.3.4 Concentração de SO_2 pelo Método do Peróxido de Hidrogênio

A expressão para a concentração é dada pela Equação 6.3:

$$C_{SO2} = \frac{128 \times V_{solução}}{V_{ar}} \qquad \text{Equação 6.3}$$

onde:

C_{SO2} = concentração de SO_2, em μg/m³
$V_{solução}$ = volume da solução de tetraborato de sódio 0,004 N gasto na titulação, em m³
V_{ar} = volume de ar corrigido para 25 °C e 760 mm Hg, em L

A determinação de $V_{solução}$ é apresentada na Subseção 6.2.2

O valor de V_{ar} é dado pela Equação 6.1.

O valor de C_{SO2} é calculado pela planilha da Figura 6.3.

Para mais detalhes sobre a expressão e as variáveis acima, ver o método NBR 12979.

7.0 MANUTENÇÃO

Os cuidados de manutenção do OPSOMS se concentram nas seguintes áreas:

7.1 Filtro-Membrana

Troque o filtro-membrana a cada três meses ou a cada 15 amostragens, o que ocorrer primeiro. O filtro é substituído removendo-se as mangueiras da entrada e da saída do porta-filtro de acrílico. A fim de impedir entrada falsa de ar, vede bem o porta-filtro. Para isso, desacople as suas duas metades, aplique uma fina camada de silicone nas junções das duas metades e acople novamente as duas metades, pressionando-as até que as junções sequem. Conecte o porta-filtro de volta no circuito.

7.2 Removedor de Névoa

Troque o filtro automotivo a cada três meses ou a cada 15 amostragens, o que ocorrer primeiro.

7.3 Vacuômetro

Verifique o vacuômetro contra um vacuômetro calibrado ou contra um manômetro de mercúrio. Substitua o vacuômetro caso esteja com defeito (leitura fora da faixa de $\pm$ 25 mm Hg).

7.4 Bomba

A bomba empregada é do tipo diafragma e não requer lubrificação.

Normalmente a borracha de diafragma é o primeiro componente da bomba a dar defeito, por rompimento. Neste caso, a solução é trocá-la por uma nova. Ver as instruções de troca no manual do fabricante.

O usuário deve sempre estar atento ao vacuômetro. Quando a bomba não estiver mais provendo vácuo máximo de 647 mm Hg (especificação do fabricante da bomba utilizada no OPSOMS), é sinal de que há algo errado com ela ou com as mangueiras que a conectam com o frasco-borbulhador. Neste caso, determinar o defeito da bomba, que pode ser rompimento do diafragma ou da mangueira.

Também alerta-se ao usuário para o ventilador da bomba, que deverá estar sempre funcionando enquanto a bomba estiver operando. Caso note que o ventilador está com defeito, pare o OPSOMS imediatamente e providencie a troca do ventilador.

7.5 Painel de Comando

Ver esquema na Figura 7.1.

No painel encontram-se o horâmetro, o timer, a chave liga-desliga, o sinaleiro e o porta-fusível.

Caso ocorra defeito em algum desses componentes, o usuário deverá remover o painel do interior do aparelho, afrouxando os dois parafusos de fixação.

Com o painel removido, o usuário terá uma boa visão do circuito elétrico por trás.

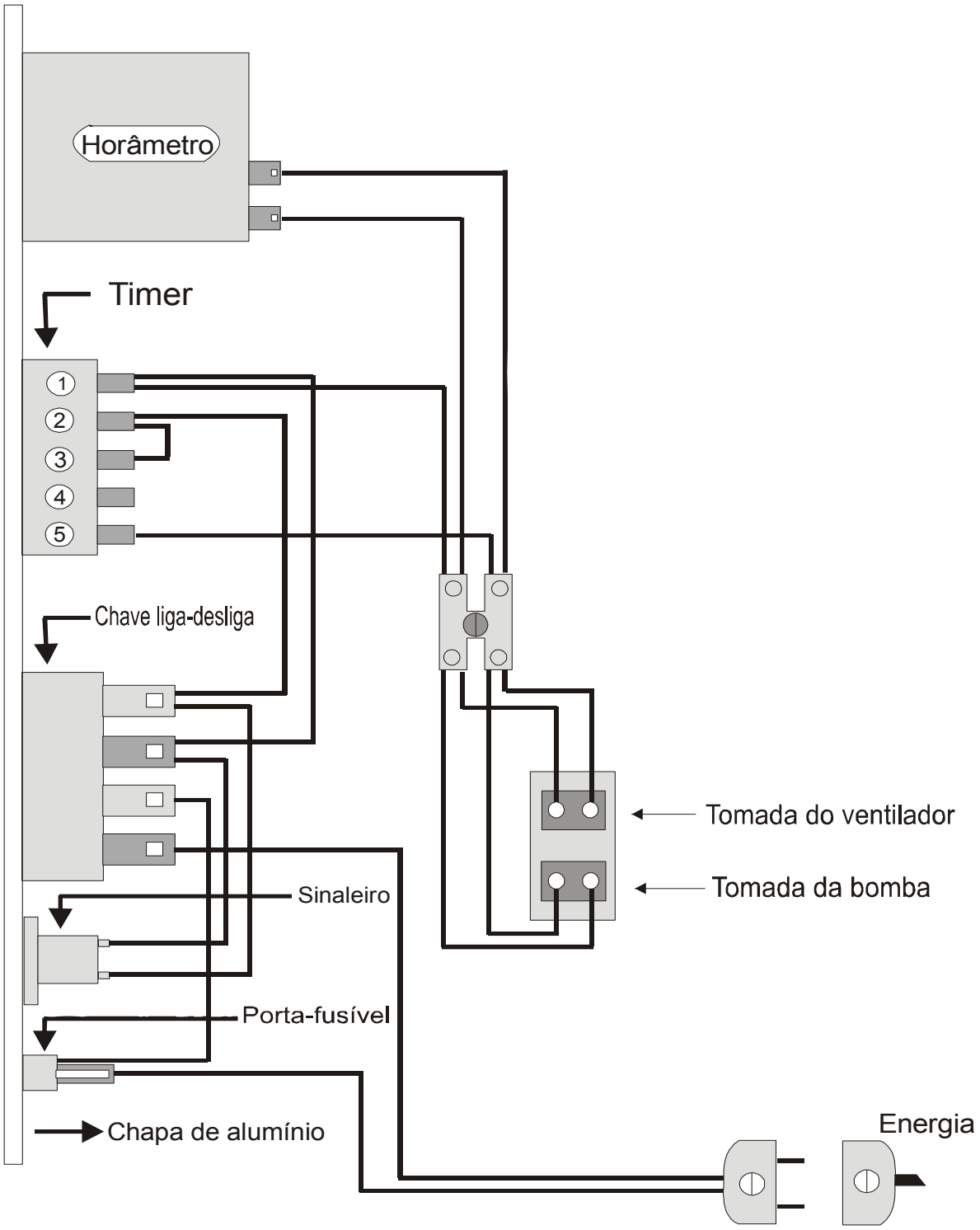


Figura 7.1 Esquema Elétrico do OPSOMS

Horâmetro

O horâmetro deve ser calibrado a cada 6 meses contra um cronômetro de exatidão comprovada. O ganho ou perda não pode ser superior a 2 minutos num período de 24 horas. Caso isto ocorra, descarte-o ou mande-o para conserto.

Programador de Tempo (Timer)

O timer deve ser calibrado e ajustado usando-se o horâmetro acima (já devidamente checado) como referência. Conforme a U.S. EPA, a frequência de calibração deve ser trimestral. O teste deve ser de 24 horas. O máximo desvio permitido é de 15 minutos em 24 horas. Ver procedimento de calibração no Apêndice E.

7.6 Porta-Filtro de Inox

A obtenção de uma mancha (circular) de fuligem a mais perfeita possível é crucial. Portanto, ao notar mancha de fuligem imperfeita, o usuário deve, de pronto, suspeitar de entrada falsa de ar no porta-filtro, devido, provavelmente, a dano nas superfícies de contacto das duas metades do porta-filtro ou no anel o-ring. Neste caso, recomenda-se primeiramente trocar o anel o-ring e fazer um teste rápido, colocando-se, por exemplo, com um filtro limpo instalado e a bomba em funcionamento, uma vela acesa próxima ao bico de entrada do porta-filtro. Este teste não leva mais de cinco minutos. Caso note, no filtro, uma mancha com as bordas disformes, além do círculo esperado (normalmente de 36 mm de diâmetro), é porque há entrada falsa de ar. Refaça o teste. Se o problema se repetir, leve o porta-filtro para correção no torno.

7.7 Refletômetro

Os cuidados com o refletômetro são apresentados no Apêndice H.

7.8 Limpeza

O OPSOMS deve ser mantido limpo, tanto por dentro como por fora. Use escova ou pano para isso.

8.0 REFERÊNCIAS

1. U.S. EPA. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurements Systems, Volume II, Ambient Air Specific Methods. EPA-600/4-77-027a, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711, 1977.

2. ABNT. Material Particulado em Suspensão na Atmosfera - Determinação da Concentração de Fumaça pelo Método da refletância da Luz. NBR 10736, Set., 1989.

3. OMS. Selected Methods of Measuring Air Pollutants. World Health Organization, Genebra, 1976.

4. ABNT. Ar Atmosférico - Determinação da Concentração de Dióxido de Enxofre pelo Método do Peróxido de Hidrogênio. NBR 12979, Set., 1993

5. ABNT. Ar atmosférico - Determinação da Concentração de Dióxido de Enxofre pelo Método da Pararrosanilina. NBR 9546, Set., 1986.

6. U.S. EPA. - Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method). 40 CFR 50, Appendix A, Section 2.1.11, Jan., 1983.

7. Methods of Air Sampling and Analysis. Third Edition. James P. Lodge, Jr. (Editor), Intersociety Committee, Lewis Publishers, Inc., 1989.

8. ABNT. Calibração de Vazão, pelo Método da Bolha de Sabão, de Bombas de baixa Vazão Utilizadas na Avaliação de Agentes Químicos no Ar. NBR 10562, Dez., 1988.

9. Lodge, Jr. Et at. The Use of Hypodermic Needles as Critical Orifices in Air Sampling. Journal of Air Polution Control Association, Volume 16, No.4, April 1966.

APÊNDICE A

PROGRAMADOR DE TEMPO (TIMER DIGITAL)

1.0 INTRODUÇÃO

O timer digital serve para ligar e desligar automaticamente o amostrador. É de alta precisão. Com ele pode-se programar o liga-desliga do amostrador em qualquer dia, hora e minuto da semana. O aparelho compreende basicamente um CLOCK (relógio) e um TIMER (programador de tempo). A idéia é primeiramente acertar o dia da semana, a hora e o minuto no CLOCK e depois programar o TIMER conforme o desejado.

2.0 DESCRIÇÃO

O timer permite oito programações (com 14 combinações cada), através de cinco teclas frontais, diariamente ou por grupos de dias (segunda a sexta, sábado e domingo e segunda a domingo). Uma bateria no instrumento provê uma reserva de energia de pelo menos um ano. O timer digital tem um canal de saída e permite RESET (retorno ao estado zero). O timer tem formato redondo, com cerca de 62 mm de diâmetro. No painel há sete teclas, um display em cristal líquido (LCD) e um sinaleiro LED. As teclas são identificadas no painel por símbolos ou pelos termos:

- RESET (zeramento da memória)
- ON (liga)
- AUTO (automático)
- OFF (desliga)
- CLOCK (relógio)
- TIMER (programação)
- DAY (dia)
- HOUR (hora)
- MIN (minuto)
- MANUAL (acionamento manual do relé de saída)

Nos display pode-se ler dados do CLOCK (dia da semana, hora, minuto e segundo) e dados do TIMER (dia da semana, hora e minuto).

3.0 DADOS TÉCNICOS

Alimentação.....120/240 V		Bateria CR2032 (descartável).....220 mA/h
Corrente.....10/15 A		Duração (teórica) bateria.....5 anos
Freqüência.....50/60 Hz		Faixa de temp. em operação.....0 - 60 °C
Capacidade.....Até 2.500 VA		Display.....LCD
Consumo.....10 W		Sinaleiro.....LED
Núm. de programações.....Até 8		Peso.....0,15 g
Intervalo mín. entre programações..1 min.		

4.0 INSTALAÇÃO

O timer digital é instalado no painel do amostrador. O esquema de ligação é apresentado na traseira do instrumento.

5.0 RESET

O reset do timer, ou seja, o retorno ao estado zero tanto do CLOCK quanto do TIMER, é realizado pressionando-se a tecla RESET. Como a tecla é pequena, de borracha e rebaixada, recomenda-se usar um objeto fino, porém não muito pontudo, para acioná-la. Na realidade, necessita-se mesmo acionar o RESET apenas em um caso:

- Quando se quer esvaziar o CLOCK e as programações do TIMER. Caso se queira apenas corrigir os dados do CLOCK ou de um determinado programa do TIMER, o RESET torna-se desnecessário. Basta apenas partir do que estiver programado no clock e no timer.

6.0 LIGA, DESLIGA E AUTOMÁTICO

O timer permite três modos de operação para uma carga programável:

- Ligado (ON)
- Desligado (OFF)
- Acionamento automático (AUTO)

Seleciona-se um desses modos com a tecla MANUAL. Ao se acionar a tecla MANUAL, um indicador logo acima da tecla, na forma de um tracinho horizontal, pula da direita para a esquerda, ou vice-versa, posicionando-se, da esquerda para a direita, no ON (liga), AUTO (automático) e OFF (desliga). Na posição AUTO, com o tracinho logo acima da palavra AUTO, o timer ligará e desligará conforme programação pré-estabelecida. A programação do timer deve ser sempre realizada com o instrumento na posição OFF (desligado).

Finalmente, recomenda-se, ao colocar-se o timer no AUTO, sempre trazer o tracinho da posição OFF para a posição AUTO. Nunca, portanto, da posição ON para a AUTO, a não ser que se queira deixar o amostrador já ligado; neste caso, apenas o OFF fica programado.

7.0 PROGRAMAÇÃO

7.1 <u>Para Acertar o Clock (Relógio)</u>

Dia da semana

- Mantendo a tecla CLOCK pressionada, acione a tecla DAY. O dia da semana (MO, TU, WE, TH, FR, SA ou SU) aparecerá no display em letras bem pequenas sobre os dígitos e mudará para o próximo cada vez que se acionar a tecla DAY.

- Caso segure as teclas CLOCK e DAY, simultaneamente, por mais de três segundos, o dia da semana saltará para o próximo mais rapidamente.

- Solte ambas as teclas quando o dia desejado estiver indicado no display.

Notar que os dias da semana estão em inglês: MO (segunda), TU (terça), WE (quarta), TH (quinta), FR (sexta), SA (sábado) e SU (domingo).

Hora

- Mantendo a tecla CLOCK pressionada, acione a tecla HOUR. A hora do dia (0 a 23) mudará para a próxima cada vez que se acionar a tecla HOUR.

- Caso segure as teclas CLOCK e HOUR, simultaneamente, por mais de 3 segundos, a hora do dia saltará mais rapidamente.

- Solte ambas as teclas quando a hora desejada estiver indicada no display.

Minuto

- Mantendo a tecla CLOCK pressionada, acione a tecla MIN. O minuto da hora (0 a 59) mudará para o próximo cada vez que se acionar MIN.

- Caso segure as teclas CLOCK e MIN, simultaneamente, por mais de 3 segundos, o minuto saltará mais rapidamente.

- Solte as teclas quando o minuto desejado estiver indicado no display.

Nota: Ao se acertar o dia da semana e o horário, os segundos reiniciarão do zero automaticamente.

Com o clock acertado, passa-se à programação do timer.

7.2 Para Programar o Timer

- Aperte e solte a tecla TIMER para entrar na programação do timer. Aparece então o número “1” à esquerda, no display, com ON logo acima em letras bem pequenas. Isto indica que se pode programar o instante do início da energização da carga programável no programa 1. Lembrar que o aparelho permite 8 programações.

- Acione a tecla DAY para selecionar o dia da semana (MO, TU, etc.)

- Há 14 combinações que se pode escolher para os dias da semana em cada um dos 8 programas:

- MO (segunda)	- SA + SU
- TU (terça)	- MO + WE + FR
- WE (quarta)	- TU + TH + SA
- TH (quinta)	- MO + TU + WE
- FR (sexta)	- TH + FR + SA
- SA (sábado)	- MO + TU + WE + TH + FR + SA
- SU (domingo)	- MO + TU + WE + TH + FR + SA + SU

Para escolher qualquer das programações da lista acima o operador deverá acionar a tecla DAY sucessivamente até aparecer o grupo de dias desejado. A sequência se dá conforme acima.

Nota: A última combinação, por exemplo, significa que a operação liga-desliga se repete uniformemente em todos os dias da semana. A oitava combinação significa que a operação liga-desliga será feita somente nos sábados e domingos.

- Acione a tecla HOUR para escolher a hora.

- Acione a tecla MIN para escolher o minuto.

- Após acertar o dia da semana, a hora e o minuto para ON (liga) no programa 1, aperte e solte a tecla TIMER para programar o OFF (desliga) ainda no programa 1.

Aparece então o OFF em cima do número “1”, novamente em letras pequenas.

- Repita os passos 2, 3 e 4 acima para programar o dia, a hora e o número do OFF (desliga).

- Após programar os instantes de ON (liga) e OFF (desliga) no programa 1, repita, se for necessário, os passos 1 a 6 para os programas 2 a 6.

- Acione a tecla MANUAL e mova o tracinho (que deve estar na posição OFF) para a posição AUTO.

Nota: Quando for programar para início imediato, sugere-se programar o início (ON) do timer para 3 minutos mais tarde, tempo suficiente para se fazer toda a programação. E é só esperar um pouquinho, que o usuário verá seu amostrador ligar, iniciando o funcionamento programado.

8.0 BATERIA

A programação realizada no timer é guardada em memória protegida por bateria. Utilizar bateria CR-2032. Quando esta estiver com sua carga reduzida, um mensagem aparece no visor, indicando que a bateria deve ser substituída. Teoricamente, a bateria dura 5 anos. Entretanto, a ENERGÉTICA recomenda trocá-la a cada ano.

O acesso à bateria é feito por trás do timer.

APÊNDICE B

HORÂMETRO

1.0 INTRODUÇÃO

O horâmetro instalado no amostrador serve para medir, com precisão, o tempo de amostragem.

2.0 DESCRIÇÃO

O horâmetro é eletromecânico, sendo acionado por um micromotor síncrono de elevada precisão. Quando acionado, o micromotor movimenta o conjunto de dígitos legíveis, indicando o tempo de funcionamento do sistema. A contagem é progressiva e cumulativa, isto é, não retorna ao zero (não resseta).

O modelo instalado vem com 7 dígitos, com indicação de 1/100 da hora. Atenção: Tem-se que converter de centésimo (1/100 da hora) para minuto (1/60 da hora).

O instrumento, em caixa própria de 48 x 48 mm, é instalado no painel de comando do amostrador, logo acima do timer.

3.0 DADOS TÉCNICOS

Escala		Decimal (%)
Alimentação		110 ou 220 Vca
Frequência		60 Hz
Consumo		2,0 VA
Temp. ambiente		0 a 60 °C
Exatidão da leitura		0,001 %
Leitura máxima		99999,99 Hora

4.0 INSTALAÇÃO

O horâmetro é instalado no painel de controle do amostrador. Ver circuito de instalação na seção sobre manutenção.

5.0 OPERAÇÃO

O horâmetro é ligado em paralelo à bomba. Portanto, seu acionamento é concomitante com o da bomba.

6.0 CALIBRAÇÃO

O horâmetro deve ser calibrado a cada 6 meses contra um cronômetro de comprovada exatidão. A perda ou ganho não pode ser superior a 2 minutos num período de 24 horas. Caso isso ocorra, descarte o horâmetro ou mande repará-lo.

APÊNDICE C

CALIBRAÇÃO DO BOLHÔMETRO (MÉTODO DO VOLUME DE DESLOCAMENTO MEDIDO GRAVIMÉTRICAMENTE)

C.1 Introdução

O bolhômetro consiste em um tubo de vidro, circular, com duas circunferências distanciadas uma da outra de tal modo que o volume interno limitado por estas linhas seja conhecido. A extremidade inferior do bolhômetro é completamente aberta enquanto que a superior é afunilada em forma de bico, de modo a receber uma mangueira flexível.

O bolhômetro é o dispositivo para medida de vazão mais comumente usado para a calibração de orifícios críticos (agulhas hipodérmicas) e a medida da vazão do TRIGÁS no campo. Como tal, ele deve estar devidamente calibrado ou verificado.

Normalmente, a ENERGÉTICA fornece bolhômetros com tubos de deslocamento de dois tamanhos: de 150 mL (nominal), para a determinação da vazão de agulhas de 200 mL/min (método do SO_2 pela pararrosanilina) e de 500 mL (nominal), para agulhas de 2.000 mL/min (método do SO_2 pelo peróxido de hidrogênio).

Dentre os métodos de calibração do bolhômetro, descrevemos aqui o de mais fácil aplicação, ou seja, o Método do Volume de Deslocamento Medido Gravimetricamente. O procedimento aqui apresentado foi retirado da Referência 1 (Capítulo 8.0).

O volume de deslocamento de um bolhômetro não se altera com o uso; portanto, é exigido apenas a verificação inicial.

C.2 Método do Volume de Deslocamento Medido Gravimetricamente

Proceder da seguinte maneira:

1. Selecione um tubo (ou cilindro) de deslocamento, limpo, e monte-o conforme o esquema da Figura C.1. O tubo deve ficar na posição invertida, ou seja, com sua boca maior para cima. Conecte o tubo, por meio de uma mangueira com uma válvula, a um frasco.

2. Selecione um frasco (balão) com um volume maior que o volume do tubo de deslocamento do bolhômetro.

3. Determine o peso do frasco, obedecendo as seguintes especificações:

   a. Frasco de 10 mL - pese com aproximação de 0,001 g.
   b. Frasco de 100 mL - pese com aproximação de 0,01 g.
   c. Frasco de 1.000 mL - pese com aproximação de 0,1 g.

   Anote os pesos no formulário de registros de calibração (ver Figura C.2).

4. Encha o tubo de deslocamento com água destilada. Em seguida, drene o sistema até que as bolhas sejam removidas, coletando a água num bécher e jogando-a fora.

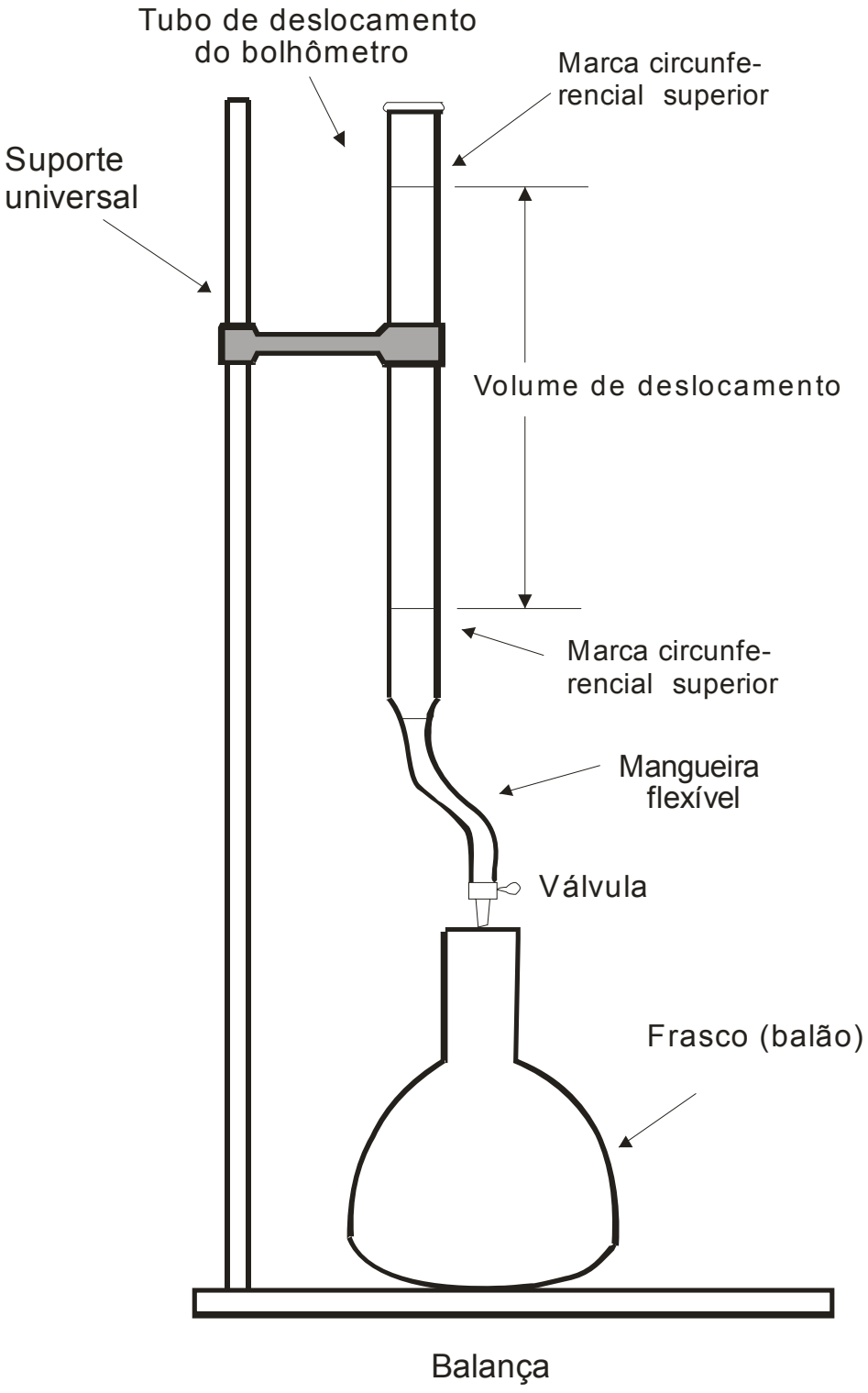


Figura C.1 Aparelhagem para Calibração do Bolhômetro

5. Após a remoção das bolhas, encha o tubo de deslocamento até que o fundo do menisco coincida com a marca superior.

6. Determine a temperatura da água dentro do tubo e anote-a no formulário.

7. Drene o volume de deslocamento num frasco (balão) previamente pesado (Passo 3) e, logo em seguida, tampe-o com uma rolha (caso tenha).

8. Pese o frasco e seu conteúdo. Anote o peso no formulário.

9. Repita os Passos 3 a 8 duas vezes.

10. Calcule o volume de deslocamento (V_m) usando a Equação C.1.

$$V_m = (W_{tf} - W_{ti})/D_t \qquad \text{Equação C.1}$$

onde V_m = volume de deslocamento, mL
W_{tf} = peso final da água e o frasco, g
W_{ti} = peso inicial do frasco, g
D_t = densidade relativa da água à temperatura da rodada, g/mL

Abaixo, um exemplo de cálculo para um tubo de deslocamento de 100 mL.

a. Temperatura da água = 23 °C
b. W_{ti} = 73,905 g
c. W_{tf} = 173,930 g
d. D_t = 0,99756 (Tabela C.1)

$$V_m = (173,930 - 73,905)/0,99756 = 100,27 \text{ mL}$$

11. Compute o volume de deslocamento (V_d) das três rodadas:

$$V_m = (V_{m1} + V_{m2} + V_{m3})/3 \qquad \text{Equação C.2}$$

O uso do bolhômetro na calibração de orifícios críticos (agulhas hipodérmicas) requer correções para temperatura, pressão barométrica e pressão de vapor da bolha (considerada a mesma da água). Utiliza-se a Equação C.3 (abaixo) para se levar as condições da bolha para condições padrão.

$$Q_p = [\text{Vol (mL)/Tempo (min)}]x\{[P_b – (1\text{-}UR/100)xP_v]/760\}x[298/(273 + T)] \qquad \text{Equação C.3}$$

onde P_b = pressão atmosférica, mm Hg
P_v = pressão de vapor da água (ver Tabela C.2, no fim deste apêndice), mm Hg)
UR = umidade relativa, %
T = temperatura do gás, °C

Exemplo:

Suponha temperatura de 20 °C, umidade de 60% e pressão atmosférica de 710 mm Hg. A vazão em condições padrão é dada por

$$Q_p = [\text{Vol(mL)/Tempo(min)}]x\{[710 – (1\text{-}60/100)x17,54]/760\}x[298/(273 + 20)] =$$

$$= [\text{Vol(mL)/Tempo(min)}]x0,940, \text{ em mL/min}$$

FORMULÁRIO DE CALIBRAÇÃO DO TUBO DE DESLOCAMENTO DO BOLHÔMETRO

N° de série do Tubo: *101*

Data da calibração: *25/12/97*

Vol. nominal de deslocamento (a) *100* mL

Calibrado por: *Angela*

Rodada N°	Temp. da água °C	Peso inicial do tubo (W_{ti}) g	Peso final do tubo (W_{tf}) g	Volume de deslocamento (V_m) (b)	Observações
1	*23*	*73,905*	*173,930*	*100,27*	
2	*23*	*73,905*	*173,935*	*100,27*	
3	*23*	*73,905*	*173,925*	*100,26*	

(a) V = volume de deslocamento, indicado pelo fabricante = *100* ml

(b) $V_m = (W_{tf} - W_{ti})/D_t$ = (*173,93 - 73,905*)/*0,99756* = *100,27* mL; D_t = 0,99756 g/mL
(ver Tabela C.1 para a densidade D_t)
$V_m = (V_{m1} + V_{m2} + V_{m3})/3$ = (*100,27 + 100,27 + 100,20*)/*3* = *100,267* mL;

Figura C.2

Tabela C.1

DENSIDADE ABSOLUTA DA ÁGUA

Temp. °C	Densidade g/mL	Temp. °C	Densidade g/mL
15	0,99913	25	0,99707
16	0,99887	26	0.99681
17	0,99880	27	0,99654
18	0,99862	28	0,99626
19	0,99843	29	0,99597
20	0,99823	30	0,99567
21	0,99802	31	0,99537
22	0,99780	32	0,99505
23	0,99756	33	0,99473
24	0,99732	34	0,99440

Tabela C.2 Pressão de Vapor da Água (mm Hg)

Temp. °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
000	4,579	4,613	4,647	4,681	4,715	4,750	4,785	4,820	4,855	4,890
001	4,926	4,962	4,998	5,034	5,070	5,107	5,144	5,181	5,219	5,258
002	5,294	5,332	5,370	5,408	5,447	5,488	5,525	5,565	5,605	5,645
003	5,685	5,725	5,766	5,807	5,848	5,889	5,931	5,973	6,015	6,058
004	6,101	6,144	6,187	6,230	6,274	6,318	6,363	6,408	6,453	6,498
005	6,543	6,580	6,635	6,681	6,728	6,775	6,822	6,869	6,917	6,965
006	7,013	7,062	7,111	7,160	7,209	7,259	7,309	7,360	7,411	7,462
007	7,513	7,565	7,617	7,669	7,722	7,775	7,828	7,882	7,936	7,990
008	8,045	8,100	8,155	8,211	8,267	8,323	8,380	8,437	8,494	8,551
009	8,609	8,668	8,727	8,786	8,845	8,905	8,965	9,025	9,086	9,147
010	9,209	9,201	9,333	9,395	9,458	9,521	9,585	9,649	9,714	9,776
011	9,844	9,910	9,976	10,042	10,109	10,176	10,244	10,312	10,380	10,449
012	10,518	10,588	10,658	10,728	10,799	10,870	10,941	11,013	11,085	11,158
013	11,231	11,305	11,379	11,453	11,528	11,604	11,680	11,756	11,833	11,910
014	11,987	12,065	12,144	12,223	12,302	12,382	12,462	12,543	12,624	12,706
015	12,788	12,870	12,953	13,037	13,121	13,205	13,290	13,375	13,461	13,547
016	13,634	13,721	13,809	13,898	13,987	14,076	14,168	14,256	14,347	14,438
017	14,530	14,622	14,715	14,809	14,903	14,997	15,092	15188	15,284	15,380
018	15,477	15,575	15,673	15,772	15,871	15,971	16,071	16,171	16,272	16,374
019	16,477	16,581	16,685	16,789	16,894	16,999	17,105	17,212	17,319	17,427
020	17,535	17,644	17,863	17,863	17,974	18,085	18,197	18,309	18,422	18,536
021	18,650	18,765	18,880	18,996	19,113	19,231	19,349	19,468	19,587	19,707
022	19,827	19,948	20,070	20,193	20,316	20,440	20,565	20,690	20,815	20,941
023	21,068	21,169	21,324	21,453	21,583	21,714	21,845	21,977	22,110	22,243
024	22,377	22,512	22,648	22,785	22,922	23,060	23,198	23,337	23,476	23,616
025	23,756	23,897	24,039	24,182	24,326	24,471	24,617	24,764	24,912	25,060
026	25,209	25,359	25,509	25,660	25,812	25,964	26,117	26,271	26,426	26,582
027	26,039	26,897	27,055	27,214	27,374	27,535	27,696	27,858	28,021	28,185
028	28,349	28,514	28,680	28,847	29,015	29,184	29,354	29,525	29,697	29,870
029	30,043	30,217	30,392	30,568	30,745	30,923	31,102	31,281	31,461	31,642
030	31,824	32,007	32,191	32,376	32,561	32,747	32,934	33,122	33,312	33,503
031	33,695	33,888	34,082	34,276	34,471	34,667	34,864	35,062	35,261	35,462
032	35,663	35,865	36,068	36,272	36,477	36,683	36,891	37,099	37,308	37,518
033	37,729	37,942	38,155	38,369	38,584	38,801	39,018	39,237	39,457	39,677
034	39,898	40,121	40,344	40,569	40,796	41,023	41,251	41,480	41,710	41,942

Tabela C.2 Pressão de Vapor da Água (mm Hg) (continuação)

Temp. °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
035	42,175	42,409	42,644	42,880	43,117	43,355	43,595	43,836	44,078	44,320
036	44,563	44,808	45,054	45,301	45,549	45,799	46,050	46,302	46,556	46,811
037	47,067	47,342	47,582	47,841	48,102	48,364	48,627	48,891	49,157	49,424
038	49,692	49,961	50,231	50,502	50,774	51,048	51,323	51,600	51,879	51,160
039	52,442	52,725	53,009	53,294	53,580	53,867	54,156	54,446	54,737	55,030
040	55,342	55,810	55,910	56,210	56,510	56,810	57,110	57,410	57,720	58,030
041	58,340	58,650	58,960	59,270	59,580	59,900	60,220	60,540	60,860	61,180
042	61,500	61,820	62,140	62,470	62,800	63,130	63,460	63,790	64,120	64,460
043	64,800	65,140	65,480	65,820	66,160	66,510	66,860	67,210	67,560	67,910
044	68,260	68,610	68,970	69,330	69,690	70,050	70,410	70,770	71,140	71,510
045	71,880	72,250	72,620	72,990	73,360	73,740	74,120	74,500	74,880	75,260
046	75,650	76,040	76,430	76,820	77,210	77,600	78,000	78,400	78,800	79,200
047	79,600	80,00	80,410	80,820	81,230	81,640	82,050	82,460	82,870	83,920
048	83,710	84,130	84,990	84,990	85,420	85,850	86,580	86,710	87,140	87,580
049	88,020	88,460	89,340	89,340	89,790	90,240	90,690	91,140	91,590	92,050
050	92,510	97,200	102,090	107,200	112,510	118,040	123,800	129,820	136,080	142,600
060	149,380	156,430	163,770	171,380	179,310	187,540	196,090	204,960	214,170	223,730
070	233,700	243,900	254,600	265,700	277,200	289,100	301,400	314,100	327,300	341,000
080	355,100	369,700	384,900	400,600	416,800	433,600	450,900	468,700	487,100	506,100
090	525,760	527,760	529,770	531,780	535,820	535,820	537,860	539,900	541,950	544,000
091	546,050	548,110	550,180	552,260	556,440	556,440	558,530	560,640	562,750	564,870
092	566,990	569,120	571,260	573,400	577,710	577,710	579,870	582,040	584,220	586,410
093	588,600	590,800	593,000	595,210	599,660	599,660	601,890	604,130	606,380	608,640
094	610,900	613,170	615,440	617,720	620,010	622,310	624,610	626,920	629,240	631,570
095	633,900	636,240	638,590	640,940	643,670	645,670	648,050	650,430	652,820	655,220
096	657,920	660,030	662,450	664,880	667,310	689,750	672,200	674,660	677,120	679,690
097	682,070	684,550	687,040	689,540	692,050	694,570	697,100	698,630	702,170	704,710
098	707,270	709,830	712,400	714,980	717,560	720,150	722,750	725,360	727,980	730,610
099	733,240	735,880	738,530	741,180	743,850	746,520	749,200	751,890	754,580	757,290
100	760,000	762,720	785,450	768,190	770,930	773,680	776,440	779,220	782,000	784,780
101	787,570	790,370	793,180	796,000	798,820	801,660	804,500	807,350	801,210	813,080

APÊNDICE D

CALIBRAÇÃO/ENSAIO DA AGULHA HIPODÉRMICA (ORIFÍCIO CRÍTICO)

D.1 Introdução

Os métodos de amostragem de poluentes gasosos normalmente especificam a que vazões as coletas devem ser realizadas. Por exemplo, para a medição do SO_2 pela pararrosanilina, o método usual pede vazão na faixa de 180 a 220 mL/min, ou seja, 200 mL/min com variação de $\pm$ 10%. E para a medição de SO_2 pelo peróxido de hidrogênio, na faixa de 1.800 a 2.200 mL/min, ou seja, 2.000 mL/min com variação de 10%.

Tem-se, portanto, que providenciar orifícios com vazões nas faixas exigidas e, como não são fáceis de achá-los, prontos e calibrados, em mercados especializados, recorre-se a procedimentos artesanais com agulhas hipodérmicas encontradas nas farmácias para obtê-los. Algumas vezes, por sorte, consegue-se achar agulhas com as dimensões adequadas, sem a necessidade de alterar sua área de passagem. Entretanto, na maioria das vezes, tem-se que ajustar sua área de passagem, até atingir-se a vazão desejada.

Calibra-se uma agulha com um dispositivo de medição de vazão, tal como o bolhômetro.

Para a calibração/ensaio, o tubo de deslocamento do bolhômetro é colocado em posição vertical e instalado num sistema compreendendo também uma vasilha com água e sabão, dois filtros de proteção, o orifício que se quer calibrar, uma bomba a vácuo, munida de vacuômetro, um cronômetro, um barômetro e um termômetro. Ver esquema na Figura D.1.

O orifício crítico tem seu tamanho limitado pela potência da bomba a vácuo utilizada, visto que há um certo tamanho (diâmetro interno) além do qual a bomba não consegue manter vácuo acima de 429 mmHg (ao nível do mar). No caso da bomba utilizada pela **ENERGÉTICA,** é possível satisfazer estas condições para vazões de até 4 L/min, valor este bem superior à soma das vazões nos três orifícios normalmente usados no TRIGÁS.

Atento às exigências no parágrafo acima, o usuário pode então promover a passagem de uma bolha pelo interior do tubo de deslocamento, de baixo para cima, pela força de sucção da bomba. Forma-se a bolha colocando-se a superfície de água com sabão ou detergente, contidos em uma vasilha (um bécher, por exemplo), em contacto com a boca inferior do bolhômetro. Para isso, coloca-se a vasilha sob a boca do bolhômetro e em seguida move-se a vasilha lentamente para cima até o contacto do espelho d'água com a borda da boca. No momento do contacto, a força de sucção da bomba gera a formação de bolhas, puxando-as para cima.

A velocidade com que a bolha se desloca no interior do bolhômetro dá uma idéia da vazão através do orifício. Os passos na prática são: cria-se a bolha na extremidade inferior, aciona-se o cronômetro quando a bolha passar pela linha circunferencial inferior e pára-se o cronômetro quando passar pela linha superior. Tem-se então o tempo cronometrado (t_c) em que a bolha percorre o volume indicado no certificado de calibração (ou relatório de ensaio) do tubo de deslocamento do bolhômetro (V_m), volume este chamado de volume de deslocamento.

Antes de dividir V_m pot t_c e achar a vazão, tem-se ainda que corrigir V_m. Isto porque este volume pode ser um pouquinho maior do que o volume realmente deslocado visto que a água da bolha se evapora no ar atrás da bolha. Se o ar atrás da bolha tiver umidade superior a 50%, o erro é pequeno. Porém, se o gás for seco, o erro pode ser grande e deve portanto ser corrigido pela expressão:

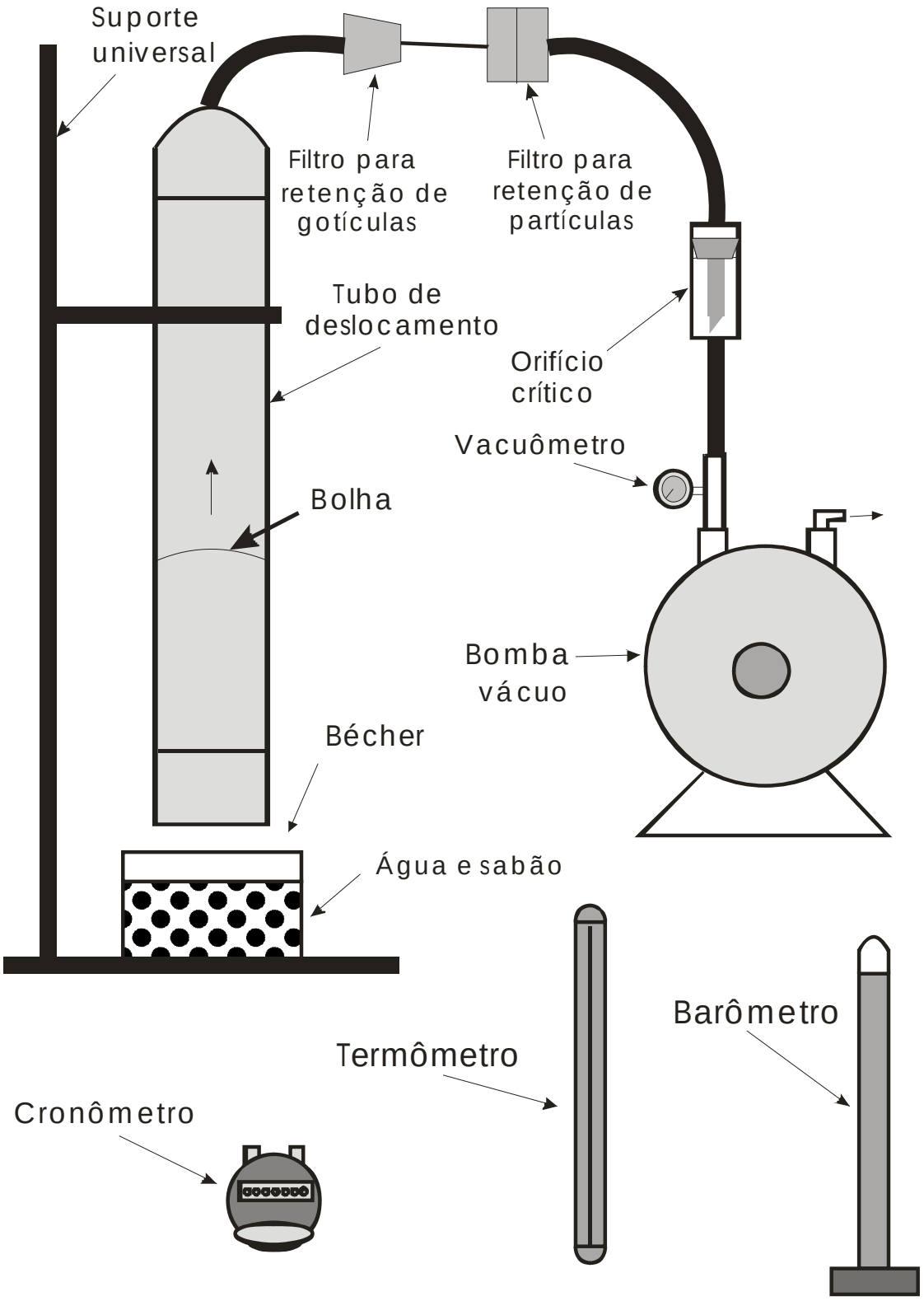


Figura D.1 Sistema para Calibração do Orifício Crítico

$$\left(\frac{V_{mc}}{V_m}\right) = \left(\frac{P_b - \left(1 - \left[\frac{UR}{100}\right]\right)P_v}{P_p}\right)\left(\frac{T_p}{T_a}\right) \qquad \text{Equação D.1}$$

onde:

V_{mc} = volume corrigido (mL)
V_m = volume compreendido entre as marcas do tubo de deslocamento (mL)
P_b = pressão atmosférica (mmHg)
UR = umidade relativa (%)
P_v = pressão do vapor d'água na temperatura ambiente (mmHg)
P_p = pressão atmosférica padrão (760 mmHg)
T_p = temperatura padrão (298 K)
T_a = temperatura ambiente (K)

Na expressão acima, P_b, P_v e P_p devem sempre ter as mesmas unidades.

A pressão de vapor d'água, P_v, é encontrada na Tabela C.2 do Apêndice C.

A **ENERGÉTICA** normalmente fornece bolhômetro com duas dimensões: 150 mL e 500 mL (ver Apêndice C).

Finalmente, dividindo-se V_{mc} pelo tempo cronometrado t_c, tem-se a vazão no orifício crítico para condições padrão de temperatura e pressão, válida para o local da calibração:

$$Q_{oc} = \left(\frac{V_{mc}}{(1000)(t_c)}\right) \qquad \text{Equação D.2}$$

A expressão acima dá Q_{oc} em L/min.

Na medida do tempo de deslocamento da bolha, o usuário deve ter todo o cuidado de iniciar e parar o cronômetro exatamente quando a bolha passar respectivamente pelas linhas inferior e superior. O processo deve ser repetido, só se devendo considerar o tempo cronometrado quando a diferença entre um tempo cronometrado e o anterior for menor do que 1/100 de minuto (cerca de 0,60 segundo).

Ao se fazer a calibração de um orifício, os dados levantados devem ficar bem documentados. Recomenda-se para registro dos mesmos uma folha de calibração (ou de ensaio) conforme a apresentada na Figura D.2, contendo os seguintes parâmetros:

- Identificação do orifício
- Local e data da calibração
- Volume do bolhômetro utilizado (V_m)
- Pressão atmosférica (P_b) e temperatura ambiente (T_a) no local
- Umidade relativa (UR)
- Vácuo mínimo pela Equação 2.10 (P_g)
- Leitura no vacuômetro (P_g)
- Pressão de vapor na temperatura ambiente (P_v)
- Tempo cronometrado para passagem da bolha (t_c)
- Volume deslocado corrigido (V_{mc})
- Vazão do orifício (Q_{oc})
- Nome e assinatura do responsável

FORMULÁRIO DE CALIBRAÇÃO/ENSAIO DO ORIFÍCIO CRÍTICO (CONTRA BOLHÔMETRO)

N° ORIFÍCIO: _____ LOCAL CAL.: _____ DATA CAL.: _____

BOLHÔMETRO N° _____ VOL. NOMINAL: _____ ml

CALIBRAÇÃO/ENSAIO REALIZADA POR: _____

Parâmetro	Sigla	Valor	Unidade
Pressão Atmosférica	P_b		mm Hg
Pressão Atmosférica Padrão	P_p	760	mm Hg
Temperatura Ambiente	T_a		K
Temperatura Ambiente Padrão	T_p	298	K
Umidade Relativa	UR		%
Vácuo Mínimo pela Equação 1	P_{gm}		mm Hg
Leitura no Vacuômetro	P_g		mmHg
Pressão de Vapor a _____ °C	P_v		mm Hg
Tempo Médio de Cronometragem	t_c		min
Volume Medido do Bolhômetro (ver Apêndice C)	V_m		mL
Volume do Bolhômetro Corrigido pela Equação 2	V_{mc}		mL
Vazão no Orifício pela Equação 3	Q_{oc}		L/min

Cálculo de Tempo Médio de Cronometragem		
Medida	Tempo Médio Lido no Cronômetro	Conversão para Minutos
1ª		
2ª		
3ª		
Média		

Equações:

Eq. 1: $P_{gm} = 0{,}55 \times (P_b + 20{,}45)$; $P_g > P_{gm}$

Eq. 2: $V_{mc} = V_m \times [\{(P_b - (1\text{-}UR/100)P_v)\}/ P_p] \times (T_p / T_a)$

Eq. 3: $Q_{oc} = V_{mc} / (1.000 \times t_c)$

Figura D.2 - Formulário de Calibração/Ensaio do Orifício Crítico Contra um Bolhômetro (Determinação da Vazão Crítica)

Existe um método da ABNT (Ref. 8 no Capítulo 8.0) para a calibração de orifícios críticos. Entretanto, o procedimento aqui descrito foi retirado do manual da garantia da qualidade da U.S. EPA (Ref. 1, Capítulo 8.0), por ser mais preciso, inclusive com a consideração da correção da pressão de vapor da bolha.

D.2 Material para a Calibração/Ensaio

Para a realização da calibração/ensaio da agulha, o usuário tem que contar com o seguinte equipamento:

1. Um **bolhômetro**, escolhido com a dimensão adequada para o orifício que se quer calibrar. A ENERGÉTICA normalmente fornece bolhômetros de 150 mL (nominal) e 500 mL (nominal), respectivamente para as medidas de SO_2 pelo método da pararrosanilina e pelo método do peróxido de hidrogênio.

2. Um **suporte universal**, para manter o bolhômetro suspenso e na vertical, e **mangueiras** flexíveis, de 1/4", para as conexões entre os componentes do sistema.

3. **Filtros de proteção** para a agulha: um, de gasolina (utilizado em motocicletas), para a retenção de gotículas d'água, e outro, de membrana, com 0,8 μm de porosidade, para a retenção de partículas finas.

4. Um **sistema de suporte da agulha**, especial, de inox ou de vidro, para encaixe da agulha, com extremidades apropriadas para conexão com a mangueira que vem do sistema de proteção filtros) da agulha e com a que vai para a bomba. Quando devidamente instalada no circuito, a ponta da agulha fica voltada para a bomba.

5. Um **bomba de vácuo** capaz de prover o vácuo necessário para as vazões em consideração. A bomba deve ser provida de uma mangueira flexível de 1/4", com comprimento suficiente para, de onde estiver, com a extremidade posterior do orifício. Recomenda-se não usar mangueira Tygon, pois achata-se sob vácuo alto. Portanto, usar uma mangueira nacional, tipo cristal, com rigidez suficiente. A bomba deve também ser provida de um **vacuômetro**, para se checar o vácuo a jusante do orifício.

6. Um **bécher**, de 250 mL, para se colocar a solução de água e sabão

7. Um **cronômetro**, com 0,01 min (centésimo de minuto) de precisão, para as medidas dos tempos de deslocamento das bolhas.

8. Um **barômetro**, devidamente calibrado, com divisão mínima de 1 mm Hg (um milímetro de mercúrio), para fornecimento da pressão barométrica no ambiente em que se está realizando a calibração. Caso não possua um barômetro, o usuário pode obter a pressão de uma estação meteorológica próxima e confiável.

9. Um **termômetro,** de mercúrio, devidamente calibrado, com divisão mínima de 1 K (um grau Kelvin), para fornecimento da temperatura no ambiente onde está sendo feita a calibração.

10. Um **higrômetro**, para fornecimento da umidade relativa do ar

11. **Tabela de pressão de vapor**, com os respectivos valores da pressão de vapor da água para cada temperatura. Ver Tabela C.2 no Apêndice C.

12. Um **alicate de bico** ou uma **mossa**, para ajuste da vazão da agulha para a faixa requerida.

13. Folhas de **Formulário de Calibração/ensaio** do orifício

D.3 Montagem do Equipamento

O sistema para a calibração das agulhas é representado pelo esquema da Figura D.1.

Sabendo-se qual a vazão requerida para a agulha, escolhe-se o bolhômetro. Este é fixado no suporte universal, em posição vertical, com a extremidade afilada para cima. A outra extremidade deve ficar a uma altura com relação à base suficiente para que se possa inserir o bécher com água e sabão por baixo.

As conexões entre os componentes podem ser com mangueira tygon ou outra de material flexivel. O filtro automotivo deve ficar após o bolhômetro, pois sua finalidade é impedir que bolhas, gotículas ou névoa atinjam o filtro membrana ou mesmo a agulha.

Quanto à agulha, é encaixada no suporte de tal modo que sua ponta fique para o lado a jusante (lado da bomba de vácuo) de sua base. O encaixe deve ser o mais cuidadoso possível, a fim de impedir entrada falsa de ar no sistema.

Tampe a entrada do sistema e pince a mangueira entre a bomba e o vacuômetro. Ligue a bomba e deixe-a funcionar até que o vácuo se estabilize. Em seguida, desligue-a e verifique então se a leitura no vacuômetro se altera. Caso se altere, é porque há entrada falsa de ar no sistema, da entrada ao vacuômetro. Localize os pontos de entrada falsa de ar e elimine-os. Em seguida, remova a pinça da mangueira.

Ligue novamente a bomba e compare a leitura do vacuômetro (P_g) com o valor calculado pela expressão 0,55 (P_b + 20,45) mm Hg, onde a pressão atmosférica P_b é lida com o barômetro. P_g tem que ser igual ou maior do que valor calculado pela expressão; caso contrário, só pode estar acontecendo uma ou mais das três possibilidades: entrada falsa de ar entre o orifício crítico e a bomba ou na própria bomba; o orifício a ser calibrado tem dimensão alta demais; a bomba perdeu força por alguma razão. Cabe então checar as possibilidades acima.

Prepare a solução de água com sabão e coloque-a no bécher de 250 mL.

Antes de instalar o bolhômetro no suporte, recomenda-se lavar a parede interior o interior do tubo (pode ser com água da bica), lubrificando-a para melhor movimentação das bolhas.

Com o sistema devidamente montado, sem entrada falsa de ar e com a bomba mantendo as condições críticas, parte-se então para a calibração/ensaio propriamente dita.

D.4 Procedimento de Calibração/Ensaio

1. Anote, no formulário de calibração/ensaio (Figura D.2), os dados iniciais, ou sejam: identificação da agulha, local e data da calibração/ensaio, a pressão atmosférica (P_b) e a temperatura ambiente (T_a).

2. Ligue a bomba e espere uns cinco minutos, até o sistema estabilizar-se.

3. Segurando o bécher com a água e sabão com a mão, mova-o por baixo da boca inferior do tubo do bolhômetro e levante-o lentamente até que a superfície da água toque na borda da boca, formando bolhas, que sobem pelo interior do tubo. Algumas se rompem antes. Espere até que todas estejam subindo normalmente.

4. Consulte a tabela de vapor de pressão (Tabela C.2 do Apêndice C) e obtenha o valor da pressão de vapor (P_v) correspondente à temperatura ambiente (T_a).

5. Anote, no formulário de calibração/ensaio, o valor do vácuo mínimo (P_{gm}), calculado por 0,55 (P_b + 20,45). Compare P_{gm} com a leitura do vacuômetro P_g. P_g tem que ser igual ou maior do que P_{gm}. Anote também o valor de P_g.

6. Aproxime então o bécher da extremidade inferior do tubo do bolhômetro, deixando subir apenas uma bolha. Dispare o cronômetro no momento em que a bolha atingir o primeiro traço de aferição (Volume 0) e pare-o no momento em que a bolha atingir o traço final (volume de deslocamento ou volume medido do bolhômetro).

7. Repita o Passo 6 por duas vezes e anote o tempo médio de cronometragem (t_c). As três leituras não devem diferir em mais de 1/100 de segundo uma da outra. Anote t_c no formulário.

8. Anote o volume aferido do bolhômetro (V_m) e calcule o volume deslocado no bolhômetro (V_{mc}) pela Equação D.1.

9. Calcule a vazão do orifício crítico (Q_{oc}) pela Equação D.2. Anote o resultado no formulário.

10. Caso a vazão esteja abaixo da desejada, substitua a agulha por uma outra de maior orifício. Ao contrário, caso a vazão for maior do que a desejada, dê, com o alicate de bico ou a mossa, alguns apertos na ponta da agulha até que se atinja a faixa de vazão adequada.

D.5 Planilhas de Cálculo

Na Figura D.3 vê-se exemplar da planilha cálculo fornecida pela ENERGÉTICA.

ENERGÉTICA INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
LME- LABORATÓRIO DE METROLOGIA
DA ENERGÉTICA
Rua Gravataí, 99
CEP 21975-030 Rio de Janeiro - RJ
Tel - (21) 2501-1998 Fax (21) 2241-1354

RELATÓRIO DE ENSAIO DE ORIFÍCIO CRÍTICO

Número: **AGU-0,2-042/06** Data de Emissão: **01/05/2007**

DADOS DO CLIENTE

Solicitante:	**Vega do Norte**
Endereço:	**Rod. BR 280 km 11, Itabuna - BA**
Serviço:	**Ensaio do Orifício Crítico em Bolhômetro de 500 mL**

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO A ENSAIAR

Equipamento:	**Orifício Crítico para Amostrador de Pequeno Volume**	Identificação:
Modelo:	**Agulha Hipodérmica**	**OC. 043**
Vazão nominal:	**0,2 ℓ/min**	

DADOS D0 ENSAIO

Data de Recebimento:	**01/05/07**	Temperatura:	**21,43**	°C
Data Do Ensaio:	**01/05/07**	Pressão Atmosférica:	**759,65**	mm Hg
Local do Ensaio:	**LME/ENERGÉTICA**	Umidade Relativa:	**61**	%

PROCEDIMENTOS E/OU NORMAS APLICADAS

O procedimento empregado foi retirado do manual de garantia da qualidade da US EPA (EPA-600/4-77-027a, North Carolina, USA, 1977) para sistemas de medição de poluentes atmosféricos. O procedimento leva em consideração a pressão de vapor da bolha.

EQUIPAMENTOS/PADRÕES UTILIZADOS

Código	Equipamento	Dt. Ensaio	Dt. Venc.	Por	N° Certif.	Rastreabilidade
BP-150-001	Bolhômetro 150 mL	23/08/06	23/08/07	LME	1505/06	BALA-001
CRO-003	Cronômetro digital	11/04/06	11/04/07	O.N.	013/06	LNM
BAR-001	Barômetro	04/08/06	04/08/07	IFM	PR-4170/06	RBC/INMETRO Nº 059
TER-008	TLV	19/08/06	19/08/07	IFM	TE-2473/06	CGCRE/INMETRO Nº 70
TH-001	Termohigrômetro Digital	25/08/06	25/08/07	IFM	HI-400/06	INMETRO
BALA-001	Balança	02/12/05	02/12/06	SJS Serviços Ltda	2701/2005	INMETRO

NOTAS

1) As incertezas expandidas relatadas neste relatório são baseadas em incertezas padronizadas combinadas multiplicadas por um fator de abrangência k = 2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95 %.
2) Este certificado é válido somente para o equipamento ensaiado e só pode ser reproduzido integralmente.

ENSAIADO POR **APROVADO POR** **PÁGINA**

1/2

Suellen Assis da Silva
Técnica de Laboratório

José Walderley Coêlho Dias
Gerente Técnico

Figura D.3 - Planilha de Cálculo da Calibração/Ensaio do Orifício Crítico (página 1/2)

ENERGÉTICA Qualidade do Ar

ENERGÉTICA INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
LME- LABORATÓRIO DE METROLOGIA
DA ENERGÉTICA
Rua Gravataí, 99
CEP 21975-030 Rio de Janeiro - RJ
Tel - (21) 2501-1998 Fax (21) 2241-1354

RELATÓRIO DE ENSAIO DE ORIFÍCIO CRÍTICO

Número: **AGU-0,2-042/06** Data de Emissão: **01/05/2007**

MEDIÇÕES E CÁLCULOS

PARÂMETRO	NOTAÇÃO	VALOR	UNIDADE
Pressão Atmosférica	P_b	759,65	mm Hg
Pressão Atmosférica Padrão	P_p	760	mm Hg
Temperatura Ambiente	T_a	294,59	K
Temperatura Ambiente Padrão	T_p	298,16	K
Umidade Relativa	UR	61	%
Vácuo Mínimo pela Equação 1	P_g	429,05	mm Hg
Leitura no Vacuômetro	P_{g2}	640	mm Hg
Obs.: P_{g2} deve ser maior que P_g			
Pressão de Vapor a: 21,43 ºC	P_v	19,15	mm Hg
Tempo Médio de Cronometragem	T_c	0,24	minutos
Volume Aferido do Bolhômetro	V_m	496,97	mL
Volume Deslocado no Bolhômetro pela Eq. 2	V_{mc}	490,08	mL
Vazão do Orifício, pela Equação 3	Q_{oc}	2,0387	L/min

CÁLCULO DO TEMPO MÉDIO DE AMOSTRAGEM			EQUAÇÕES
Medida	Tempo Cronômetro	Conversão para minutos	
1	00:14,43	0,241	Eq. 1: $P_g = (P_b+20,45) \times 0,55$
2	00:14,45	0,241	Eq. 2: $V_{mc} = V_m \times [\{P_b-(1-UR/100)P_v\}/P_p] \times (T_p/T_a)$
3	00:14,39	0,240	Eq. 3: $Q_{oc} = V_{mc}/(1000 \times T_c)$
	Média (T_c):	0,240	

CÁLCULO DA INCERTEZA

Incerteza expandida = 0,0287 L/min

Obs.: Para o cálculo da incerteza foram consideradas as seguintes fontes: leituras repetidas do tempo de amostragem; calibração do bolhômetro; calibração e resolução do termômetro; calibração e resolução do barômetro; calibração e resolução do cronômet

RESULTADO RELATADO

Valor medido da vazão do Orifício Crítico: Q_{oc} = 2,0387 ± 0,0287 L/min

ENSAIADO POR **APROVADO POR** **PÁGINA**

2/2

Suellen Assis da Silva
Técnica de Laboratório

José Walderley Coêlho Dias
Gerente Técnico

Figura D.3 - Planilha de Cálculo da Calibração/Ensaio do Orifício Crítico (página 2/2)

APÊNDICE E

CALIBRAÇÃO DO PROGRAMADOR DE TEMPO (TIMER)

Apresenta-se, neste anexo, o procedimento recomendado pela US EPA para a calibração do timer:

1. Monte o sistema segundo o esquema da Figura E.1.
2. Ligue o timer numa tomada elétrica.
3. Acerte o relógio do timer para a hora correta.
4. Programe o timer para um período de 24 horas.
5. Ligue uma lâmpada de teste numa das saídas do timer e o horâmetro numa outra.
6. Verifique o sistema, operando, manualmente, a chave liga-desliga.
7. Deixe o sistema funcionar pelo período de 24 horas e determine o período decorrido com o horâmetro. Caso o período medido esteja dentro de 24 h ± 15 minutos, o timer é aceito para uso no campo; caso contrário, veja o que há de errado. Caso não consiga eliminar o problema, rejeite o timer.

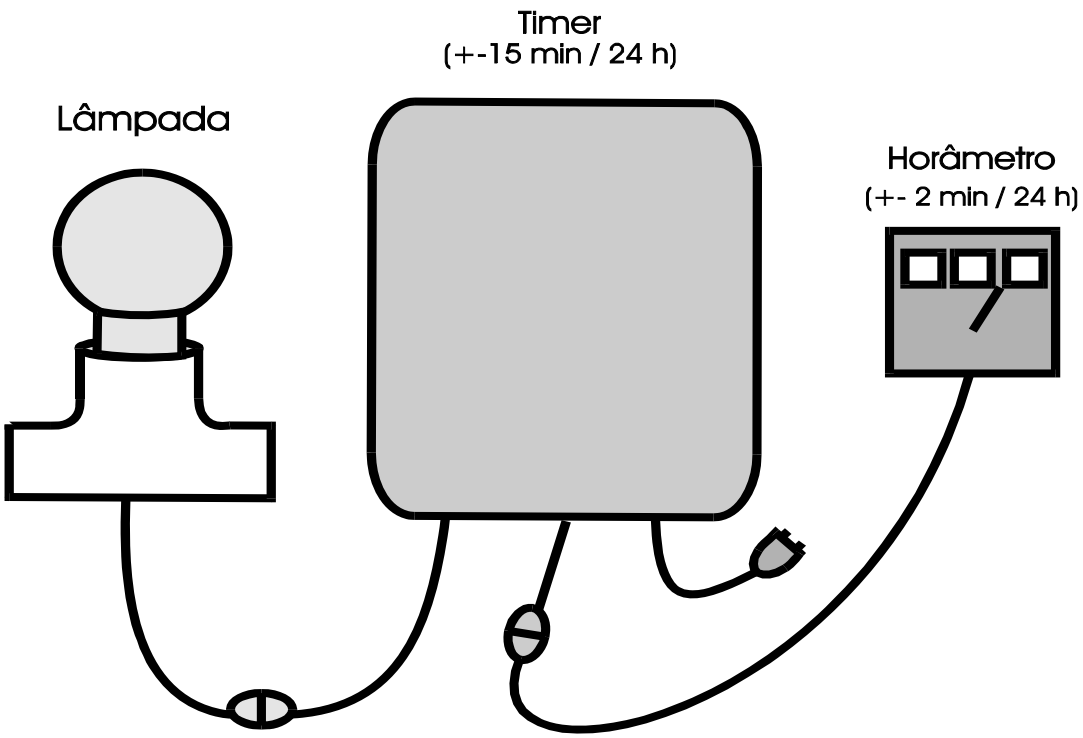


Figura E.1 Esquema de Calibração do Timer

APÊNDICE F

PROCEDIMENTOS DA U.S.EPA PARA A DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE AMOSTRAGEM NO CAMPO (Ref. 1 no Capítulo 8.0)

F.1 Introdução

Apresentamos, neste apêndice, os procedimentos da U.S. EPA para a determinação da vazão de amostragem no campo, do SO_2 pelo método da pararrosanilina. Para maiores detalhes dos procedimentos, recomendamos ao usuário consultar a Ref. 1 no Capítulo 8.0.

Parte-se da premissa de que o usuário já conhece o TRIGÁS, pois só apresentamos aqui os aspectos realmente pertinentes à medida da vazão.

A determinação da vazão é apresentada na Subseção F.3. Entretanto, achamos por bem incluir neste apêndice alguns aspectos de amostragem (Subseção F.2) que são, de algum modo, relacionados com a determinação da vazão. As checagens no amostrador, antes e após a amostragem (Subseções F.2.1 e F.2.2) são instrumentais na metodologia da U.S. EPA.

F.2 Coleta da Amostra

F.2.1 Checagens Pré-operacionais

As checagens relacionadas abaixo são realizadas a qualquer momento antes da amostragem, normalmente logo após o recolhimento da amostra anterior.

1. Pince a mangueira que liga a bomba ao manifold de inox.

2. Ligue a bomba e anote a leitura do vacuômetro no campo “Leitura inicial vácuo-com pinça” no formulário de amostragem (Figura F.1).

3. Se a leitura do vacuômetro for inferior a 530 mm Hg, verifique se a pinça está realmente apertada e se as extremidades da mangueira estão bem conectadas.

4. Se a leitura do vacuômetro permanecer abaixo do valor de referência (Passo 3 acima), repare ou substitua a bomba.

5. Desligue a bomba.

6. Remova a pinça.

7. Cheque vazamento e meça a vazão inicial na entrada do frasco-borbulhador conforme procedimento apresentado na Subseção F.3.

8. Ligue a bomba e anote a leitura do vacuômetro no campo “Leitura inicial vácuo-sem pinça” no formulário de amostragem.

9. Verifique se há borbulhamento no frasco-borbulhador. Caso não haja, cheque as mangueiras e as conexões.

10. Programe o timer.

11. Anote a data e a hora no formulário de amostragem.

FORMULÁRIO DE AMOSTRAGEM

Local *Smelter Town*
Poluente *SO_2*
Amostrador n° *TGP-0054*
Amostra n° *530*
Tipo medidor de vazão *Bolhômetro*
N° medidor de vazão *101*

	Sem pinça	Com pinça
Leitura inicial vácuo	*609,6*	*629,9*
Leitura final vácuo	*609,6*	*629,9*

Dia início amostragem *05/01/98*
Hora início amostragem *24:00*
Dia término amostragem *06/01/98*
Hora término amostragem *23:57*
Leitura inicial horâmetro *15,67 h*
Leitura final horâmetro *39,62 h*
Tempo de amostragem *1.437 min*
Vazão nominal *200 mL/min*

Vazão inicial	Vazão final
204 mL/min	*203 mL/min*
205 mL/min	*204 mL/min*
206 mL/min	*202 mL/min*
Média *205 mL/min*	Média *203 mL/min*

Diferença % *1,0*

Temp. média amostra *10* °C Umidade relativa *55* %
Temp. ambiente: Início _____°C, Término _____°C, Média *25* °C
Pressão barométrica: Início ____ mm Hg, Término ____ mm Hg, Média *749,0* mm Hg

Observações e condições incomuns: *Ventos calmos, boa visibilidade, céu claro, baixa umidade, temperatura na faixa de 5 - 16 °C*

Assinatura *J. M. Jones*

Figura F.1 Formulário de Amostragem

F.2.2 Checagens Pós-Operacionais

Após o recolhimento da amostra:

1. Cheque vazamento e meça a vazão final, usando o mesmo procedimento que o usado para a vazão inicial. Anote no formulário de amostragem.

2. Anote a leitura do vacuômetro no campo “Leitura final vácuo-sem pinça” no formulário de amostragem e anote a leitura do horâmetro.

3. Pince a mangueira.

4. Anote a leitura do vacuômetro no campo “Leitura final váculo-com pinça” no formulário de amostragem.

5. Cheque as condições do filtro membrana e substitua-o caso esteja rasgado ou tenha havido perda de cor. De qualquer maneira, substitua-o caso tenha atingido 15 amostragens. Substitua também o filtro de remoção de névoa caso tenha atingido 15 amostragens.

6. Verifique se o poço frio está funcionado.

7. Anote a temperatura média da solução durante o período de amostragem.

8. Anote a pressão barométrica.

9. Verifique se houve perda de solução devido à evaporação. Marque, com um pedaço de fita adesiva ou com um lápis apropriado, o nível da solução no frasco. Determine a quantidade de solução no frasco e anote no formulário de amostragem ou registre se houve ou não evaporação.

F.2.3 Período de Amostragem

O período de amostragem deve ser anotado no formulário de amostragem. Para amostragens de 24 horas, a amostra é rejeitada caso o período de amostragem seja < 23 h ou > 25 h. O período real de amostragem deve ser determinado com aproximação de $\pm$ 15 min.

F.2.4 Manuseio da Amostra

1. Primeiramente, remova a mangueira da entrada do Frasco-Borbulhador.

2. Determine o volume de solução remanescente no frasco. Marque o nível no frasco e anote a estimativa no formulário de amostragem.

3. Caso haja evidência de mal-funcionamento (por exemplo, perda de solução por sugamento pelo sistema de vácuo), anote este fato no formulário de amostragem. A solução, nessas circunstâncias, é normalmente invalidada.

4. Tampe primeiramente a entrada do Frasco-Borbulhador e, em seguida, a saída de sucção. Aperte as tampas. Coloque o Frasco-Borbulhador na caixa de transporte.

5. Anote, no formulário de amostragem, quaisquer observações pertinentes, relativas a fontes, condições meteorológicas etc., que possam afetar a concentração de SO_2.

6. Caso as amostras não sejam levadas logo para análise, guarde-as, num refrigerador ou caixa com gelo, à temperatura de 5 °C $\pm$ 5 °C.

F.3 Determinação da Vazão de Amostragem

Os trens de amostragem normalmente utilizam agulha hipodérmica de inox para controle da vazão.

A vazão é determinada por ocasião da colocação do frasco com solução absorvedora no trem de amostragem e, novamente, por ocasião do recolhimento do frasco do trem de amostragem para envio para análise no laboratório. Por outras palavras, aquela entidade norte-americana exige duas determinações de vazão por cada amostragem.

O bolhômetro, ou outro dispositivo para medir vazão, conectado à entrada do trem de amostragem, é utilizado para a determinação da vazão. A determinação da vazão deve ser realizada com todos os componentes do sistema de amostragem, inclusive o poço frio (se estiver sendo utilizado), operando.

F.3.1 Medição da Vazão

Os métodos de referência da U.S. EPA para a determinação de SO_2 exige que a vazão no trem de amostragem seja medida antes e depois do período de amostragem. As vazões inicial e final não devem diferir em mais de $\pm$ 5 % uma da outra; caso contrário, a amostragem é rejeitada.

As vazão exigida por norma para a determinação de SO_2 pelo método da pararrosanilina é de 200 mL/min.

O bolhômetro utilizado deve ser de tamanho tal que o volume seja deslocado em 10 a 30 segundos durante a medida da vazão. O bolhômetro deve ser calibrado conforme o procedimento descrito no Apêndice C.

Ocorre, geralmente, absorção do gás poluente (por exemplo, o SO_2) entre o funil de captação e a entrada do frasco com a solução absorvedora, inclusive na solução (água com sabão) do próprio bolhômetro. Portanto, os tempos despendidos na realização das medidas inicial e final da vazão não devem ser incluídos no tempo de amostragem.

Além disso, deve-se inserir um lavador de carvão entre o bolhômetro e o frasco com a solução absorvedora, a fim de se garantir a remoção do poluente (por exemplo, o SO_2). Deve-se ter cuidado na seleção do tubo de carvão, de modo que a perda de carga através do trem de amostragem não aumente muito e venha alterar a vazão de amostragem.

F.3.2 Medição com o Bolhômetro

O seguinte procedimento deve ser adotado para a medição da vazão antes e depois da amostragem:

1. Monte os componentes para amostragem conforme mostrado na Figura F.2.

2. Verifique se há agulhas alojadas no trem. Caso haja, retire-as (para colocá-las mais tarde).

3. Certifique-se de que as conexões estejam todas apertadas.

4. Certifique-se de que o tubo com carvão ativado esteja conectado entre o bolhômetro e a entrada do cesto com impingers.

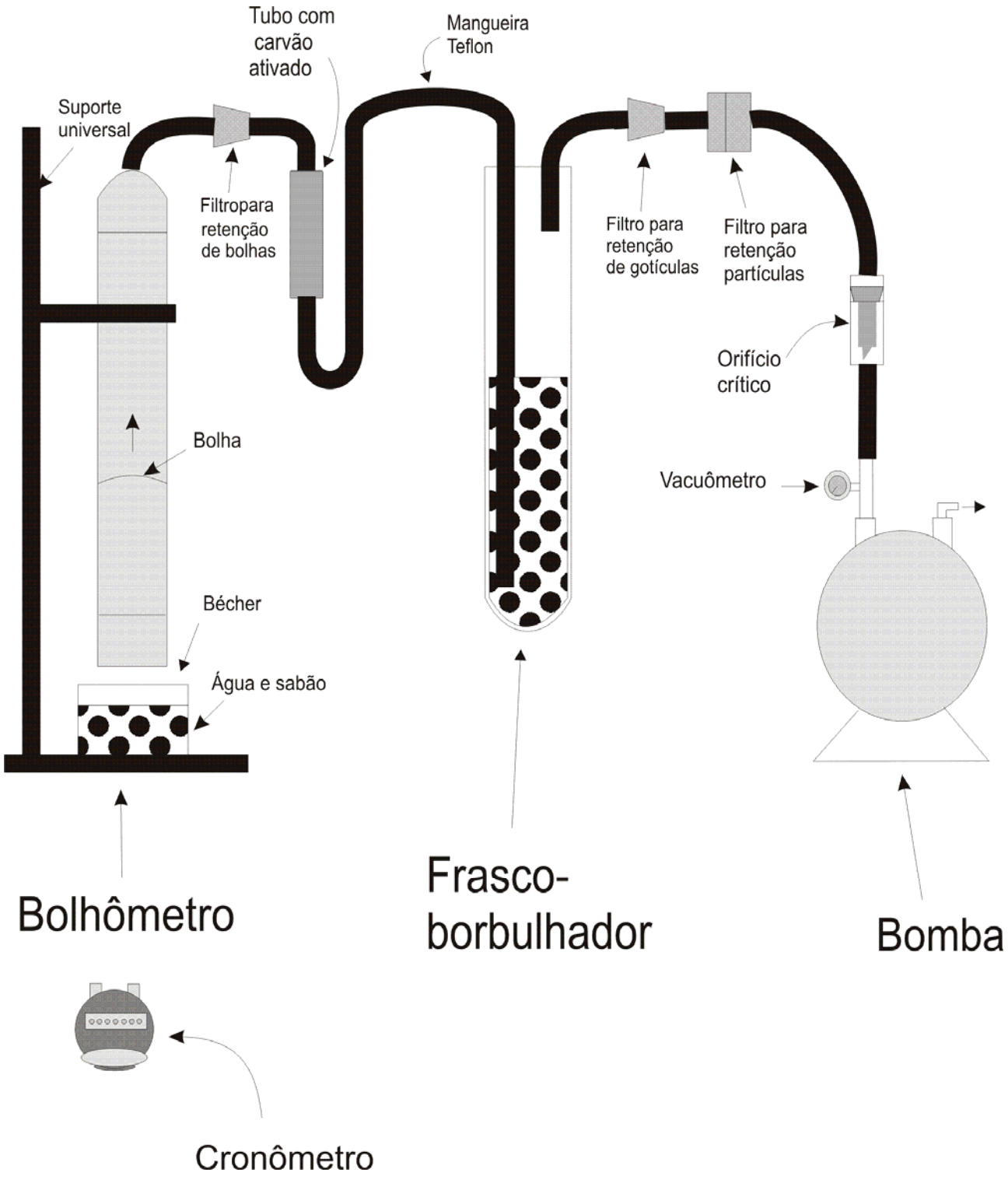


Figura F.2 Esquema de Determinação da Vazão com um Bolhômetro

5. Ligue a bomba e verifique o vácuo, bloqueando, com um dedo, a extremidade da linha de vácuo. O vacuômetro deve indicar pelo menos 530 mm Hg (21 in Hg) a uma pressão barométrica de 760 mm Hg (29,92 in Hg).

6. Insira uma das agulhas (lembre-se que o TRIGÁS pode trabalhar com até três agulhas simultaneamente, contanto que permaneçam as condições críticas) no seu alojamento numa das vias do cesto e isole as outras duas vias (ver procedimento nas Subseções 3.3.4 e 3.3.6).

   Verifique se não há vazamentos. Caso haja, elimine-os.

   Repita o Passo 6 para cada agulha e sua respectiva via no cesto.

7. Ligue a bomba.

8. Verifique o borbulhamento na solução do Frasco-Borbulhador. Tape a entrada do bolhômetro e veja se o borbulhamento cessa. Caso ainda haja borbulhamento, cheque vazamentos. Desbloqueie a entrada do bolhômetro.

9. Toque, com a extremidade aberta do bolhômetro na superfície da solução de sabão, de modo que uma bolha suba no tubo do bolhômetro. Repita isto várias vezes, até que as bolhas percorram todo o comprimento do tubo sem se romperem.

10. Quando a bolha passar pela primeira marca do tubo graduado, dê partida ao cronômetro, e, quando passar pela segunda marca, pare o cronômetro. Anote o tempo de percurso da bolha e o volume graduado entre as duas marcas. Leia o vacuômetro e certifique-se de que o vácuo seja suficiente durante a medida da vazão.

11. Repita o passo acima duas vezes mais. Anote os tempos cronometrados e os volumes graduados.

12. Obtenha, com um termômetro e um barômetro, respectivamente, a temperatura e a pressão ambientes, ou obtenha-as de uma estação meteorológica próxima.

13. Tire a média dos tempos cronometrados para as três rodadas.

14. Divida o volume deslocado pela média dos tempos cronometrados, obtendo, assim, a vazão.

15. Corrija a vazão média para as condições padrão (25 °C e 760 mm Hg), usando a Equação F.1.

$$Q_p = Q_r \left[\frac{P_p - (1 - UR) P_v}{P_p} \right] \left(\frac{298}{T_b + 273} \right) \qquad \text{Equação F.1}$$

onde Q_p = vazão nas condições padrão (25 °C e 760 mm Hg), L/min
Q_r = vazão nas condições no local de monitoramento, L /min
P_b = pressão barométrica nas condições do local de monitoramento, mm Hg ou in Hg
UR = umidade relativa do ar sendo medido; determinada com um psicrômetro portátil ou obtida de uma estação meteorológica próxima.
P_v = pressão de vapor da água à temperatura do ar no fluxo ou volume padrão, nas mesmas unidades que P_b (ver tabela com valores de pressão de vapor no Apêndice C).
P_p = pressão barométrica padrão, nas mesmas unidades que P_b (760 mm Hg ou 29,92 in Hg)
T_b = temperatura do ar no bolhômetro, °C

Caso não se tenha disponível um barômetro, pode-se usar a seguinte equação para se determinar a pressão barométrica média:

$$P_b = 760 - 0{,}072\ (H)\ \text{mm Hg}$$

ou

$$P_b = 29{,}92 - 0{,}0030\ (H)\ \text{in Hg}$$

onde H = elevação do local com relação ao nível do mar, em metros

F.4 Validação da Vazão

F.4.1 Vazão Inicial

Se a vazão inicial (Q_i) diferir da vazão da agulha (Q_{oc}) em mais de 5 % (conforme determinado pela Equação F.2), deve-se localizar o vazamento e calcular uma nova vazão Q_i, até que a diferença em Q_i e Q_{oc} fique abaixo de 5 %.

$$\%Dif = \frac{Q_i - Q_{oc}}{Q_{oc}} \qquad \text{Equação F.2}$$

F.4.2 Vazão Final

A vazão inicial e a vazão final devem estar com aproximação de 5 % uma da outra, para que a amostra coletada seja válida.

Esta verificação deve ser realizada no campo, por ocasião da medida da vazão final, de modo a se determinar, no ato, quaisquer discrepâncias que possam ocorrer. A imediata determinação no local das razões para a variação da vazão evita perda futura de dados.

A amostra é invalidada quando a diferença entre a vazão inicial (Q_i) e a vazão final (Q_f) diferir em mais de 5 % uma da outra, conforme determinado pela Equação F.3.

$$\%Dif = \frac{Q_i - Q_f}{Q_f} \qquad \text{Equação F.3}$$

APÊNDICE G

EXIGÊNCIAS DE LOCALIZAÇÃO (DA U.S. EPA)

Os critérios completos para a localização de amostradores para as medições de SO_2 e NO_2 estão apresentados no Apêndice E do 40 CFR 50. Algumas exigências mínimas (iguais para ambos os poluentes) são apresentadas abaixo:

1) O amostrador deve ficar afastado em no mínimo 20 m de árvores, edifícios ou outros grandes obstáculos. Uma regra geral é que o amostrador fique afastado de um obstáculo em no mínimo duas vezes a altura do obstáculo com relação à entrada do amostrador.

2) A entrada do amostrador deve ficar de 3 a 15 m do solo.

3) O fluxo de ar em redor do amostrador deve estar livre em no mínimo 270 °. Caso esteja ao lado de um edifício, o ângulo deve ser de no mínimo 180 °.

4) Não coloque o amostrador perto de fornos ou incineradores.

APÊNDICE H

REFLETÔMETRO

M43D EEL
(SMOKE STAIN REFLECTOMETER)

MANUAL DE OPERAÇÃO

Responsável:

José Walderley Coêlho Dias

ÍNDICE

Seção	Descrição	Pág.
1.0	INTRODUÇÃO	1
2.0	APLICAÇÃO E PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	1
2.1	APLICAÇÕES	1
2.2	PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	1
3.0	REFLETÔMETRO	1
4.0	DADOS TÉCNICOS	3
5.0	INSPEÇÃO	3
6.0	TESTE DE LINEARIDADE	3
7.0	OPERAÇÃO	4
8.0	MANUTENÇÃO	5

1.0 INTRODUÇÃO

O r**efletômetro** é um instrumento de precisão, para medições rápidas, exatas e repetitíveis da refletância de superfícies.

O principal uso do r**efletômetro** é na determinação da refletância de filtros para poluição do ar. No Brasil, seu emprego atende à norma NBR 10736 da ABNT.

Numa descrição simplificada, o instrumento é formado por um caneco sensor contendo uma lâmpada de tungstênio, que emite luz com intensidade invariável, e um medidor. A luz emitida pela lâmpada atinge a superfície cuja refletância quer-se medir, sendo então refletida e recebida por uma célula fotovoltaica especial. Esta célula gera uma tensão, cujo sinal é enviado ao sistema medidor, que o processa, linearizando-o e amplificando-o, e mostra o resultado já convertido em porcentagem de refletância num display digital.

O objetivo deste manual é permitir ao usuário conhecer as características do r**efletômetro**, assim como suas técnicas de operação, calibração e manutenção.

2.0 APLICAÇÃO E PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO

2.1 APLICAÇÕES

As principais aplicações do instrumento são:

- Determinação da concentração de "fumaça" no ar ambiente para fins de monitoramento da qualidade do ar;
- Monitoramento de ambientes industriais e túneis (higiene industrial);
- Medições de refletância para controle da qualidade e aprovação de produtos.

Nota: O uso do r**efletômetro** para medições de "fumaça" requer a coleta de amostras. A **ENERGÉTICA** fabrica o amostrador OPS/OMS com esta finalidade.

2.2 PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO

Os princípios de operação são simples, segundo já apresentado na introdução.

A superfície cuja refletância se quer medir é colocada em posição horizontal embaixo do caneco sensor.

A luz emitida do interior do caneco reflete sobre a superfície e atinge uma célula fotovoltaica.

Quanto maior a intensidade da luz refletida, maior a refletância da superfície e maior a energia (potencial elétrico) gerada pela célula fotovoltaica.

Este sinal elétrico, gerado pela luz refletida, será então diretamente proporcional à refletância da superfície medida. O sinal elétrico é enviado ao medidor onde é eletronicamente processado e mostrado no display digital.

3.0 REFLETÔMETRO

O equipamento é constituído dos seguintes componentes principais (ver Figura 1):

- Caixa medidora, com display digital, botões de ajuste fino e grosso e chave liga-desliga:
- Caneco sensor com sua fiação;
- Máscara circular com orifício;
- Placa de teste de linearidade.

Figura 1 - Foto do refletômetro, mostrando: a caixa medidora, com display digital e os botões de ajuste; o caneco sensor, com sua fiação e máscara instalada; e a placa de teste.

Com o instrumento, a **ENERGÉTICA** fornece também este manual técnico e pode, opcionalmente, acrescentar:

- Peças de reposição (lâmpada e fusível);

4.0 DADOS TÉCNICOS

O **refletômetro** fornecido pela **ENERGÉTICA** é caracterizado pelos seguintes dados técnicos.

• Energia:	110 Vac, 60 hz, monofásico
• Faixa de medição:	0 a 100 de refletância
• Detecção primária:	1 de refletância
• Peso:	2 kg (sem o estojo)
• Dimensões (do gabinete):	100 x 200 x 220 mm
• Célula sensora:	Evans Eletroselenium

5.0 INSPEÇÃO

Ao receber seu equipamento, realize uma inspeção para verificar se não ocorreu quebra ou dano durante o transporte.

Verifique se a caixa externa (estojo) não apresenta deformações e se o gabinete da caixa medidora não está amassado ou com dificuldade de ser aberto.

Verifique se todos os componentes estão presentes, de acordo com a lista apresentada no Item 3.0.

6.0 TESTE DE LINEARIDADE

O instrumento pode ser testado no próprio local de operação mediante o uso da placa de teste fornecida.

Para o teste, o procedimento consiste em:

- Ligar o aparelho na tomada (110 VAC) e verificar se o conector multipino do caneco sensor está firmemente conectado à caixa medidora.

- Adaptar (caso não esteja ainda) a máscara circular no caneco sensor.

- Ligar a chave liga-desliga e verificar se a lâmpada no interior do caneco sensor acende. Isto pode ser feito olhando o fundo do caneco. A intensidade da lâmpada é similar a de uma lanterna portátil. Deixar aquecer por 8 minutos.

- Colocar o caneco sensor centrado em cima do círculo branco da placa de calibração. O valor mostrado deverá ser de 100 ± 2 de refletância. Caso seja diferente, utilize os botões de ajuste (grosso e fino) para ajustar.

- Colocar o medidor sobre o círculo cinza. O valor agora deverá ser de aproximadamente o indicado do padrão cinza do calibrador (±1,5). Utilizar o ajuste até atingir este valor. Nota: Geralmente, o valor indicado está gravado à mão.

- Se tiver sido necessário o ajuste, verifique novamente o valor do 100.

- Repetir os últimos três passos acima até obter leituras próximas ao 100 e ao valor indicado na placa de calibração.

- Observar este valor por alguns minutos. Se variar muito, pode ser devido a flutuações na energia da rede, o que causará distúrbios na calibração e nas próprias leituras.

- Para verificar o zero do instrumento, colocar a máscara e com o instrumento ligado apontar para qualquer lugar escuro. O instrumento deve ler 0 ±1.

Nota: A célula fotoelétrica é muito sensível, inclusive a variações na temperatura. Portanto, não se preocupe se houver variações de 1 ou 2 unidades no display.

O **Refletômetro** está finalmente testado e pronto para uso.

Recomendamos que, inicialmente, este teste seja feito toda vez que o instrumento for ligado. Com o uso, à medida que for adquirindo confiança, e se verificar que o aparelho não fica descalibrado durante longos períodos de tempo, o usuário pode então aumentar o intervalo de tempo entre os testes. Memso assim, devido à simplicidade e pouca demora, recomendamos que o mesmo seja efetuado no mínimo uma vez por semana. Isto também dependerá das condições ambientais, do uso e, sobretudo, da estabilidade da rede de alimentação.

Nota: A norma da ABNT exige que o valor de 100 seja ajustado utilizando um filtro Whatman nº 1 limpo.

7.0 OPERAÇÃO

A operação é simples:

1) Ligar o instrumento e deixar ligado por 5 minutos.

2) Colocar um filtro limpo sobre o padrão branco da placa de teste e colocar a máscara sobre ele.

3) Colocar o caneco sensor sobre a máscara e ajustar a sensibilidade até obter uma leitura de 100 ± 2.

4) Trocar o filtro limpo por um filtro com a amostra (com a mancha escurecida) que se deseja medir.

5) Colocar o caneco com máscara sobre o filtro com a amostra e registrar esta leitura.

8.0 MANUTENÇÃO

O seu **refletômetro** é projetado e fabricado de modo que seja mínima a manutenção necessária.

Recomendamos manter o instrumento em lugar fresco, seco, sem poeira, sem vibrações e longe de campos magnéticos.

As únicas tarefas de manutenção recomendadas são:

- Limpar o aparelho freqüentemente com um pano seco e suave;

- Trocar a lâmpada a cada 6 meses de uso.

Nota: A célula fotovoltaica, no interior do caneco, é muito sensível e pode ser facilmente arranhada. Ela não deve ficar diretamente exposta à luz solar ou à luz forte, sob pena de danificar-se.

APÊNDICE I

FORMULÁRIOS

Formulários em branco são fornecidos nas próximas páginas para conveniência do usuário deste manual. Cada formulário retém seu respectivo número de figura do texto.

Os seguintes formulários estão incluídos neste apêndice:

Formulário	Título
5.1	Formulário de Registro de Dados – Amostragem com o OPSOMS
C.2	Formulário de Calibração do Tubo de Deslocamento do Bolhômetro
D.2	Formulário de Calibração/Ensaio do Orifício Crítico

OPSOMS – AMOSTRAGEM

Formulário de Registro de Dados

Número:	
Data:	
Executante:	
Conferencista:	

DADOS GERAIS DA AMOSTRAGEM

N° do Amostrador: **Local:**

Nº da amostra: **N° do filtro:**

Poluente: **Método amostragem:**

Poluente: **Método amostragem:**

Dia inicial: **Dia final:**

Hora inicial: **Hora final:**

Vazão nominal: **L/min** **Duração:** **Horas (nominal)**

DADOS DO ORIFÍCIO CRÍTICO

Orifício crítico n°: **Vazão do orifício:** **L/min**

Data última calibração: **Bolhômetro n°:**

Temperatura (T_1): **°C**

Pressão barom. (P_1): **mmHg**

CONDIÇÕES DA AMOSTRAGEM

Temperatura amb. média (T_2): **°C**

Pressão barométrica média (P_2): **mmHg**

Leitura inicial horâmetro: **horas** **Leitura final horâmetro:** **horas**

VÁCUO (INDICAÇÃO DO VACUÔMETRO)

Vácuo inicial: **mmHg** **Vácuo final:** **mmHg**

GASÔMETRO

Leitura inicial: **L** **Leitura final:** **L**

DADOS DO LABORATÓRIO – FUMAÇA - NBR 10736

Área da mancha no filtro (A): cm^2

Concentração superficial da "fumaça normalizada internacional" (s): $\mu g/cm^2$

DADOS DO LABORATÓRIO – SO2 - NBR 12979

Volume de solução de tetraborato de sódio 0,004 na titulação ($V_{solução}$): m^3

OBSERVAÇÕES

Ass. Executante **Ass. Conferencista**

Figura 5.1 Formulário de Registro de Dados – Amostragem com o OPSOMS

FORMULÁRIO DE CALIBRAÇÃO DO TUBO DE DESLOCAMENTO DO BOLHÔMETRO

N° de série do Tubo: _____

Vol. nominal de deslocamento (a) _____mL

Data da calibração: _____

Calibrado por: _____

Rodada N°	Temp. da água °C	Peso inicial do tubo (W_{ti}) g	Peso final do tubo (W_{tf}) g	Volume de deslocamento (V_m) (b)	Observações
1					
2					
3					

(a) V = volume de deslocamento, indicado pelo fabricante = _____ ml

(b) $V_m = (W_{tf} - W_{ti})/D_t$ = = _____ mL; D_t = _____g/mL

(ver Tabela C.1 para a densidade D_t)

$V_m = (V_{m1} + V_{m2} + V_{m3})/3$ = = _____mL;

Figura C.2

FORMULÁRIO DE CALIBRAÇÃO/ENSAIO DO ORIFÍCIO CRÍTICO (CONTRA BOLHÔMETRO)

N° ORIFÍCIO: _____ LOCAL CAL.: _____ DATA CAL.: _____

BOLHÔMETRO N° _____ VOL. NOMINAL: _____ ml

CALIBRAÇÃO/ENSAIO REALIZADA POR: _____

Parâmetro	Sigla	Valor	Unidade
Pressão Atmosférica	P_b		mm Hg
Pressão Atmosférica Padrão	P_p	760	mm Hg
Temperatura Ambiente	T_a		K
Temperatura Ambiente Padrão	T_p	298	K
Umidade Relativa	UR		%
Vácuo Mínimo pela Equação 1	P_{gm}		mm Hg
Leitura no Vacuômetro	P_g		mmHg
Pressão de Vapor a _____ °C	P_v		mm Hg
Tempo Médio de Cronometragem	t_c		min
Volume Medido do Bolhômetro (ver Apêndice C)	V_m		mL
Volume do Bolhômetro Corrigido pela Equação 2	V_{mc}		mL
Vazão no Orifício pela Equação 3	Q_{oc}		L/min

Cálculo de Tempo Médio de Cronometragem		
Medida	Tempo Médio Lido no Cronômetro	Conversão para Minutos
1ª		
2ª		
3ª		
Média		

Equações:

Eq. 1: $P_{gm} = 0{,}55 \times (P_b + 20{,}45)$; $P_g > P_{gm}$

Eq. 2: $V_{mc} = V_m \times [\{(P_b - (1\text{-}UR/100)P_v)\}/ P_p] \times (T_p / T_a)$

Eq. 3: $Q_{oc} = V_{mc} / (1.000 \times t_c)$

Figura D.2 - Formulário de Calibração/Ensaio do Orifício Crítico Contra um Bolhômetro (Determinação da Vazão Crítica)